

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Назив студијског програма: **Машинско инжењерство**

Ниво студија: **Мастер студије**

Модул: **Енергетика и процесна техника**

Предмет: **Технологије и постројења у третману воде и ваздуха**

Број индекса: **359/2012**

Јелена Д. Ђусић
МАСТЕР РАД

Тема:

**Подизање енергетске ефикасности у постројењима за третман отпадних
вода применом когенерације**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Вања Шуштершич
2. _____
3. _____

Датум одбране:

Оцена:

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да да основне напомене о третману отпадних вода. Детаљно објасни начине подизања енергетске ефикасности у постројењима за третман отпадних вода, као и добијање биогаса и примену у когенерацији.

Препоручена литература:

[1] J.Daw and K.Hallet „Energy Efficiency Strategies for Municipal Wastewater Treatment Facilities, National Renewable Energy Laboratory, 2012.

[2] Ely Greenberg, „Energy Audits for Water and Wastewater Treatment Plants and Pump Stations“,2012.

[3] др Вања Шуштершич, „Технологије и постројења за третман отпадних вода“, скрипта, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2008

Крагујевац, 30.08.2014

Ментор:
Др Вања Шуштершич

Резиме : У овом раду се обрађује проблематика отпадних вода. Полази се од врста и карактеристика отпадних вода, преко представљања самих загађивача. Разматрају се основне методе и процеси пречишћавања отпадних вода. Нарочита пажња је посвећена подизању енергетске ефикасности у постројењима за третман отпадних вода у свету. Даље се обрађује централно постројење за пречишћавање отпадних вода града Крагујевца, технички опис процеса са прорачуном добијања биогаса. Посебна пажња је посвећена и начинима пречишћавања биогаса произведеног у централном постројењу за пречишћавање отпадних вода. На крају се говори о когенерацији и њеној примени.

Кључне речи : отпадна вода, енергетска ефикасност, активни муљ, биогас.

Abstract: In this work we examine problems of wastewater. We first start with type and characteristics of wastewaters, and then we present the pollutants. The basic principles and processes of wastewater treatment is consider. Special attention is dedicated to energy efficiency in facilities for water treatment. Next, we examine the plant for wastewater treatment in Kragujevac, and amount of gas than can be produced there. Special attention is dedicated to ways of purification of gas produced in this facility. At the end, we talk about cogeneration and it's application.

Keywords: wastewater, energy efficiency, activated sludge, biogas.

Садржај

1. Увод	7
2. Отпадне воде	9
2.1. Загађивачи воде	9
2.1.1. Хемијски загађивачи	9
2.1.2. Биолошки загађивачи	10
2.1.3. Физички загађивачи	10
2.2. Врсте и карактеристике отпадних вода	10
2.3. Основне методе и процеси пречишћавања отпадних вода	11
2.3.1. Механички поступци у третману отпадних вода	13
2.3.1.1. Решетке	14
2.3.2. Хемијски поступци у третману отпадних вода	14
2.3.2.1. Хемијско таложење	15
2.3.3. Биолошки процеси пречишћавања отпадних вода	15
3. Технологија производње биогаза анаеробном дигестијом отпадних вода и муљева	16
3.1. Процес анаеробне дигестије	17
3.2. Реактори за анаеробну дигестију	21
3.3. Третман и одлагање муља	22
3.4. Продукција биогаза	26
3.5. Пречишћавање биогаза	27
4. Примери потрошње енергије у постројењу за третман вода и отпадних вода	28
4.1. Енергетски биланс	30
5. Начини подизања енергетске ефикасности у постројењима за третман отпадних вода ..	32
5.1. Подизање енергетске ефикасности у примарном третману отпадних вода	35
5.2. Подизање енергетске ефикасности у секундарном третману отпадних вода	35
5.3. Начини дезинфекције	37
5.4. Могућности уштеде електричне енергије у постројењима за третман отпадних вода	38
5.4.1. Опште мере	38

5.4.2. Расвета.....	39
6.Примери подизања енергетске ефикасности у постројењима за третман отпадних вода у свету.....	40
6.1. Пример ревизије енергетског процеса, извршеног за град Crested Butte, Колорадо, на постројењу за прераду отпадних вода.....	41
6.1.1. ППОВ Crested Butte	42
6.1.2. Начини подизања енергетске ефикасности у ППОВ у месту Crested Butte.....	43
7.Централно постројење за пречишћавање отпадних вода града Крагујевца	46
7.1. Преглед производног процеса.....	46
7.2. Технички опис процеса са прорачунима	47
7.2.1. Начини рада пумпне станице	48
7.2.2. Грубе и аутоматске решетке.....	48
7.2.3. Аерисани песколов	49
7.2.4. Примарно таложење.....	50
7.2.5. Биолошка аерација.....	52
7.2.6. Секундарно таложење.....	53
7.2.7. Рециклирање муља	54
7.2.8. Вишак муља	55
7.2.9. Примарни угушћивач.....	55
7.2.10. Анаеробна дигестија.....	56
7.2.11. Загревање дигестора	57
7.2.12. Загревање муља	59
7.2.13. Биогаз	60
7.2.14. Секундарни угушћивач	61
7.2.15. Тракасте филтер пресе.....	61
7.2.16. Складиштење биогаза	62
7.3. Коришћење биогаза као енергента	63
7.3.1. Коришћење биогаза у производњи топлотне енергије.....	63
7.3.2. Коришћење биогаза као горива за транспорт	65
7.3.3. Утискивање у мрежу природног гаса.....	66

7.3.4. Пречишћавање биогаса произведеног у централном постројењу за пречишћавање отпадних вода	66
7.3.4.1. Уклањање водоник-сулфида	67
7.3.4.2. Уклањање CO ₂	68
7.3.4.3. Сушење	70
7.4. Подизање енергетске ефикасности у CPPOV Крагујевац	70
7.4.1. Минимизација рада котла	71
7.4.2. Побољшање енергетске ефикасности у пумпном постројењу коришћењем фреквентног регулатора	72
7.4.3. Гасни мотори	73
8. Когенерација	74
8.1. Когенерација и њене предности код постројења за третман отпадних вода	74
8.2. Когенеративно постројење са мотором SUS	76
9. Закључак	77
10. Литература	78

1. Увод

Живећи и радећи човек продукује различита загађења течног и чврстог порекла. Када је реч о третману отпадних вода, циљ нам је да се оне по свом штетном дејству неутралишу и безбедно диспонирају, како не би дошло до угрожавања квалитета човекове околине, а пре свега водне сфере.

Сакупљене отпадне воде одговарајућим канализационим објектима – канализацијом, транспортујемо што брже до места третмана, односно диспозиције и испуштамо у одговарајући пријемник.

За успешно извршавање задатка третмана отпадних вода нужно је знати њихову количину, врсту и квалитет, методе и процесе пречишћавања. Пречишћене отпадне воде могу имати и секундарну вредност, па се делом или потпуно могу користити у индустрији, пољопривреди, па чак и за пуњење резерви подземних вода које служе као изворишта за водоснабдевање становништва питком водом.

Градске отпадне воде се састоје од употребљених вода из домаћинства, установа, школа, угоститељских објеката, и др. које су у неким случајевима помешане са индустријским отпадним водама. Градске отпадне воде садрже различите супстанце које, када се непречишћене испусте у водопријемник (реке, канали, језера), на различите начине загађују животну средину. Да би се смањили негативни утицаји отпадних вода на водне ресурсе и животну средину уопште, неопходно је пре испуштања отпадне воде извршити њено пречишћавање.

Данас сви градови без обзира на величину и степен развијености државе деле исте проблеме и забринутост за квалитет своје животне средине. Ова околност је значајна јер интересовање за стање животне средине углавном започиње у урбаним срединама у којима промене еколошких услова имају директни утицај на здравље људи. Каналисање насеља и пречишћавање употребљених вода се може сматрати најважнијим урбаним проблемом и директно зависи од бројности популације, друштвених односа и развијености земље и регије. Данас више од две трећине становништва Европе живи у градовима што је последица урбанизације која се одвијала између 1950. и 1980. године. Пораст урбане популације је био карактеристичан и за простор бивше Југославије у истом периоду. Међутим, у нашем случају је модел урбанизације био резултат другачијег друштвено-економског развоја којем је допринела пре свега убрзана миграција из села у градове.

Упоређујући нашу ситуацију налазимо се при дну лествице европских земаља у погледу комуналне опремљености. У већини европских градова више од 95% становника

је повезано на канализациони систем, док Београд заостаје са свега 85% прикључених становника. Ситуација је још неповољнија на нивоу земље, тако да је у Војводини прикључено 45%, а у централној Србији без Београда свега 37% од укупног броја становника. Ово су показатељи да у урбаним срединама настају многобројни еколошки проблеми изазвани неадекватним прикупљањем, евакуацијом и пречишћавањем отпадних вода. Зато је забринутост за уравнотежени развој градова и њихове комуналне инфраструктуре оправдана. [1]

Упоређујући Србију са земљама које су прошле кроз сличне друштвено-економске околности добијају се следећи упоредни показатељи процената становника који су прикључени на јавни канализациони систем: Чешка 94%, Пољска 80%, Бугарска 67% и Србија 56%. Према расположивим подацима о развоју градских и индустријских канализационих система, постојећу ситуацију канализације насеља у Србији карактерише вишедеценијски изостанак реализације најважнијих програмских циљева у овој области, а то су: недовољан развој канализационих система градских и приградских области у складу са развојем водоснабдевања, и прихватање индустријских отпадних вода након предтретмана на заједничким уређајима за третман градских отпадних вода.

Анализом резултата истраживања из „Опште студије отпадних вода Србије“ добија се да је око 75% градског становништва повезано на јавни канализациони систем, док тај показатељ износи само 9% за сеоско становништво. Укупна стопа прикључења на канализацију је већа од 75% само у три општине (Крагујевац, Нови Сад и Сремски Карловци), док за 16 општина она износи између 50% и 75%. На канализациони систем повезано је 90% градског становништва у градовима Бор, Чачак, Крагујевац, Крушевац, Ниш и Нови Сад. Према анкети у 19 општина у Србији постоје постројења за пречишћавање отпадних вода (ППОВ), 14 са биолошким и 5 са механичким пречишћавањем. Само у 7 општина је почела изградња ППОВ, од тога 6 постројења са биолошким третманом, а 11 општина је пријавило да планира изградњу и то 9 механичких и 2 биолошка постројења за пречишћавање (слика 1). [1]



Слика 1. Општине у којима постоји постројење за пречишћавање отпадних вода

2. Отпадне воде

Отпадна вода је она вода која је променила свој првобитни састав, тако што је дошло до уношења штетних материја, чије присуство узрокује промену физичког, хемијског или бактериолошког стања воде у мери која може да ограничи или онемогући њену употребу. Садржај појединих материја (mg/l - најчешће) у загађеној води утврђује се теренским и лабораторијским радовима, на основу чега се добијају показатељи загађења воде који чине основу за планирање и пројектовање постројења за пречишћавање отпадних вода.

2.1. Загађивачи воде

На садашњем развоју урбанизације, индустрије и пољопривреде, који је веома интезиван, присутан је и велики број различитих загађивача воде, а тиме и број извора загађивања. Број загађивача нарочито је динамичан у домену хемијских супстанци које су заступљене како у свакодневном животу становништва тако исто, или чак више, у индустријској и пољопривредној производњи. Према томе, по количини загађујућих материја (посебно органских) индустријски отпаци су на првом месту, иза чега следе отпаци од становништва и пољопривреде.

По свом пореклу загађивачи воде могу бити тројаки:

- (1) хемијски,
- (2) биолошки и
- (3) физички.

2.1.1. Хемијски загађивачи

Хемијске загађиваче чине: киселине, базе, разне соли, пестициди, детерџенти, феноли и друге органске материје.

Велики је број и неорганских једињења која смањују вредност воде (тешки метали). Од органских једињења која су све више присутна у површинским, а и подземним водама могу се наћи и пестициди, синтетичке материје хемијске индустрије, вештачко ђубриво.

Ова једињења не само што су опасна по људско здравље, токсична за рибе, животиње и растине него ометају и уобичајени третман отпадних вода. Тако су нпр. пестициди токсични за водну флору и фауну, а дају и непријатан мирис и укус води. Вештачко ђубриво и детерџенти изазивају претерано размножавање водне вегетације, а у већини случајева биолошки су неразградљиви. Пена од синтетичких детерџената кочи биолошки процес у водотоковима, док у постројењима за третман отпадних вода елиминише микробе и вирусе.

2.1.2.Биолошки загађивачи

Биолошки загађивачи су: бактерије, вируси, алге, фекалије, и други заразни организми. Међу овима посебно су опасни по човека инфекциони микроорганизми, изазивачи заразних болести.

2.1.3.Физички загађивачи

Физички загађивачи су: топлота, боја, мирис, суспендоване чврсте материје, песак, муљ и сл.

Топла вода од хлађења нарушава процес фотосинтезе, односно снижава могућност воде да преноси кисеоник, чиме се нарушава животна активност биљних и животињској форми у водној средини.

На основу боје може се грубо проценити стање отпадне воде. Тако су "свеже" отпадне воде обично сиве боје (отпадне воде појединих индустрија могу имати сасвим другу боју), док код "одлежалих" отпадних вода, након утрошка целокупног раствореног кисеоника деловањем аеробних микроорганизама и након настанка анаеробних (септичких) услова, боја прелази у црну.

Мирис је карактеристика отпадне воде на коју су људи најосетљивији. Обично мирис отпадне воде потиче од гасова који настају у процесу распада органске материје (неке индустријске отпадне воде имају мирис који је карактеристика технолошког процеса од кога потичу). На пример, карактеристичан мирис септичких отпадних вода (на покварена јаја) потиче у највећој мери од водоник-сулфида који настаје у анаеробним условима микробиолошком редукцијом сулфата.

2.2.Врсте и карактеристике отпадних вода

Отпадне воде по свом пореклу делимо на:

- санитарне (фекалне),
- индустријске,
- атмосферске,
- инфилтрационе.
-

Отпадне воде су по свом саставу веома различите. Заједничко им је да садрже мање или више загађења минералног, органског или мешовитог порекла. Загађења се у води јављају у облику раствора, колоида и суспензија.

Комуналне отпадне воде настају на санитарним чворовима стамбених, јавних, индустријских и других објеката где живе и раде људи, који у физиолошком процесу продукују загађења у течном и чврстом облику. Слично је и са домаћим животињама које се узгајају на фармама и другим појединачним местима. У ове воде убрајамо и загађене (употребљене) воде од чишћења просторија, спремања хране, прања посуђа и веша, одржавања личне хигијене и сл. Количина санитарних вода зависи од специфичне потрошње воде.

Индустријске воде настају у фабрикама и индустријским погонима након употребе воде у процесу производње, као и приликом прања апарата, уређаја и др. Данас постоји велики број по карактеру различитих индустријски загађених вода, које се деле на низ подтипова у зависности од технологије производње. Ове воде могу бити и условно чисте, кад се упуштају директно у реципијент или атмосферску канализацију.

Атмосферске отпадне воде настају од падавина и отопљеног снега са урбаног подручја. У ове воде се убрајају и отпадне воде од прања уличних површина, тротоара и слично. Количина и квалитет ових вода зависи од интензитета и учесталости падавина, од начина одржавања јавне хигијене, од броја и интензитета моторног саобраћаја, врсте површинске обраде терена и саобраћајних површина, загађења атмосфере или од климатских утицаја. По укупној бактериолошкој загађености, атмосферске отпадне воде су сличне санитарним.

Инфилтрационе воде су подземне воде које дотичу у канализациону мрежу преко цевних спојева, дренажних система. По свом квалитету ове воде су најчистије, међутим, у већим количинама кад разблаже санитарне воде могу да поремете биолошко пречишћавање у постројењима.

2.3.Основне методе и процеси пречишћавања отпадних вода

Пречишћавање отпадних вода може се вршити:

- механичким,
- биолошким,
- хемијским и
- физичко-хемијским методама.
-

У пречишћавању отпадних вода користе се следећи основни процеси операције:

- задржавање на решеткама пливајућих чврстих материја и евентуално њихово дробљење,
- таложeње,
- коагулација и флокулација,

- процес биофилтрације,
- процес са активним муљем,
- дезинфекција. [2]

Поред посебних метода у пречишћавању отпадних вода користе се и посебне (допунске) методе:

- мешање и аерација,
- флотација (сепарација масти и уља),
- филтрирање,
- сорпција,
- хемијска преципитација,
- реверзна осмоза.

Посебан задатак представља обрада муља, у оквиру чега има више операционих фаза (поступака):

- згушњавање,
- неутрализација,
- хемијско пречишћавање,
- биолошка флотација,
- филтрација под притиском или вакумом,
- центрифугирање,
- труљење,
- аеробна стабилизација,
- сушење загревањем,
- сушење на ваздуху.

Комбинације процеса и операција које се најчешће срећу у пракси можемо поделити редом по комплексности на:

- задржавање на решеткама пливајућих чврстих материја,
- таложење, биофилтрација, дезинфекција,
- коагулација и флокулација, таложење, биофилтрација, дезинфекција
- коагулација и флокулација, таложење, биофилтрација, дезинфекција, филтрирање.

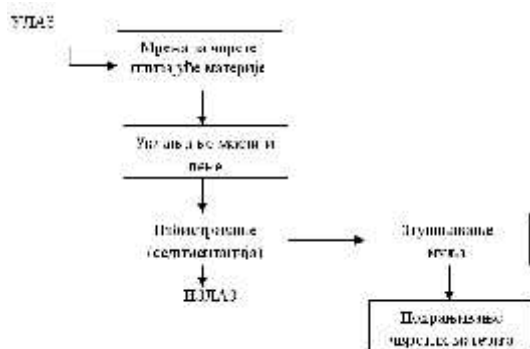
У случајевима изузетно строгих услова за испуштање пречишћених вода у реципијент уз побројане комбинације процеса морају се укључити још:

- додатна аерација,
- сорпција,
- реверзна осмоза.

2.3.1. Механички поступци у третману отпадних вода

Механичким или физичким поступком пречишћавања одстрањују се из загађених вода нерастворене материје, као и део материја у колоидном стању. Основни задатак механичког пречишћавања загађене воде састоји се у томе да се онемогући застој рада наредних објеката постројења, њихово преоптерећење и ниска продуктивност.

Механичким поступцима пречишћавања називамо поступке који се заснивају на уклањању физичких нечистоћа (разлике у специфичној тежини и облику) и на деловању физичких сила (гравитација, притисак). Ти поступци су основа такозване претходне обраде и процеса примарног пречишћавања (слика 2), као и појединих фаза процеса секундарног и терцијалног пречишћавања отпадних вода. Који ће се од поступака механичког пречишћавања применити, зависи од порекла и карактеристике отпадне воде и од траженог степена пречишћавања.



Слика 2. Упрости́ена шема примарног пречишћавања отпадних вода[3]

Механичке методе пречишћавања воде састоје се у уклањању микро и макро суспендираних честица из воде, органског и анорганског порекла. У ту сврху служе решетке, сита, таложење, флотација, филтрирање, таложници за песак, хватачи масти, примарних таложника и базена за изједначавање протока и састава отпадне воде.



Слика 3. Упрости́ена шема секундарног пречишћавања отпадних вода

Принцип рада ових уређаја заснива се на различитим специфичним тежинама суспендираних честица и воде. Пре него што вода дође у те уређаје, из ње се уклањају све пливајуће макроматерије, као што су папир, остаци дрвета, пластике, итд., и то на систему грубих и финих уситњавања макроматерија у уређајима које се називају коминутори. Њихова примена је врло широка.

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).

2.3.1.1. Решетке

Решетке служе за задржавање пливајућих предмета. Код малих постројења, ако не може бити обезбеђен стални надзор над одржавањем, препоручује се изостављање решетке уз предвиђање места за њено накнадно постављање (ако се укаже потреба).

Њихова функција је да штите уређаје и цевоводе од оштећења и загушења и да олакшају даљи третман отпадне воде. Решетке преграђују доводни канал и постављају се вертикално или под нагибом, најчешће од 40-70°.

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 20 mm, и
- ❖ фине решетке, са ширином отвора од 3 до 10 mm.

2.3.2. Хемијски поступци у третману отпадних вода

Хемијским процесима пречишћавања називамо процесе у којима се пречишћавање обавља помоћу одређених хемијских реакција или одређених физичко – хемијских феномена (адсорбција, на пример). По правилу су то адитивни процеси: уносе се хемикалије у воду да би се уклонило загађење. То доводи до повећања концентрације растворених материја у води, што је неповољно уколико се тако пречишћене отпадне воде поново користе. Сем тога хемијски процеси пречишћавања су обично скупии. Међутим, треба истаћи да хемијски процеси за уклањање појединих дефинисаних загађења отпадне воде обично немају алтернативу.

Основно поље примене хемијског пречишћавања отпадних вода је уклањање суспендованих и колоидно растворених материја коагулацијом и флокулацијом, те уклањање појединих растворених материја: хемијским таложењем, јонском изменом,

оксидацијом, продувавањем гаса, адсорпцијом. Уклањање суспендованих и колоидних материја у отпадној води коагулацијом и флокулацијом је свакако најзаступљенији поступак хемијског пречишћавања отпадних вода. Уклањањем суспендованих и колоидних материја у отпадним водама се у значајној мери смањује загађење отпадне воде. У технологији отпадних вода пречишћавање коагулацијом и флокулацијом је алтернатива биолошким процесима пречишћавања. Предности у односу на биолошке процесе су: 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. Главни недостатак је значајно мања ефикасност пречишћавања.

2.3.2.1.Хемијско таложење

Поступак хемијског таложења заснива се на превођењу растворених материја отпадних вода са погодним реагенсима у нерастворна једињења, која се затим уклањају таложењем или флотацијом или филтрацијом. Поступак је погодан за уклањање растворених материја из отпадних вода, које се због агресивности или токсичности или неразградљивости материја које садрже, тешко могу или их је немогуће биолошки пречистити. Уклањање тешких метала је карактеристична примена хемијског таложења.

2.3.3.Биолошки процеси пречишћавања отпадних вода

Биолошки процеси пречишћавања заснивају се на активности комплексне микрофлоре, која у току свог животног циклуса усваја органски и део неорганских материја које чине загађење отпадне воде, користећи их за одржавање животних активности и за стварање нових ћелија. Биолошким пречишћавањем је могуће из отпадне воде уклонити највећи део органског загађења, али је није могуће у потпуности пречистити. Биолошко пречишћавање се првенствено користи за уклањање органског онечишћења воде. У систему пречишћавања отпадних вода биолошка обрада одвија се као секундарно пречишћавање, а после механичког, односно примарног примарног пречишћавања. У току биолошке обраде настаје стабилизирани муљ који се из воде одстрањује у секундарном таложнику.

Биолошко пречишћавање се примењује за:

- уклањање органских материја,
- уклањање азота помоћу поступка нитрификације и денитрификације,
- разградњу примарног муља из процеса примарне обраде отпадних вода,
- разградњу секундарног муља из процеса биолошке обраде отпадних вода помоћу поступка стабилизације муљева или дигестије.

Биолошки процеси пречишћавања вода могу се одвијати као аеробни или анаеробни, уз помоћ аеробних или анаеробних микроорганизама. Разлика је у путевима биолошке оксидације органских материја. Аеробни процеси се користе за обраду вода са малом и средњом концентрацијом органских материја, а анаеробни за воде са великим органским оптерећењем. Аеробни процеси су далеко више заступљени код обраде отпадних вода. Они се могу одвијати на два начина:

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

Аеробни поступци са суспендованом микрофлором деле се на:

- поступке са активним муљем у биоаерационим базенима,
- поступке у аерисаним лагунама (биолошким лагунама),
- поступке у аеробним језерима.

3.Технологија производње биогаза анаеробном дигестијом отпадних вода и муљева

Интересовање научне и стручне јавности за концепте рационалног коришћења природних ресурса у условима интезивног техничког и економског развоја је у порасту, а циљ примене нових, организационо-техничких мера је остваривање постулата одрживости, тј. задовољење данашњих потреба без угрожавања могућности будућих генерација да остваре сопствени развој.

Дугогодишња употреба фосилних горива, довела је до њиховог исцрпљивања и неопходности коришћења нових, алтернативних извора енергије. Когенерација енергије, добијање топлоте или горива из процеса прераде отпада или отпадних вода, само су неке од области истраживања која су у фокусу савремених истраживачких тимова. Анаеробни процеси представљају пример постизања позитивних ефеката по животну средину уз паралелну производњу вредног енергента.

Постоје бројне предности анаеробних процеса у односу на остале биолошке третмане пречишћавања отпадних вода, јер се добијени продукти који настају анаеробним третманима могу искористити. Наиме, биогаз као основни продукт при анаеробној дигестији се може даље користити као енергент, док се отпадни муљ може употребити као ђубриво у пољопривреди или као гориво.

Употреба анаеробних третмана представља формирање безотпадних циклуса, заснованих на принципима кружења материје у природи. Анаеробна дигестија се користи за третман отпадних вода које су оптерећене великом концентрацијом органских материја. Такође се користи и за стабилизацију отпадних муљева који се јављају након пречишћавања отпадних вода аеробним процесима.

3.1. Процес анаеробне дигестије

Биолошке методе пречишћавања отпадних вода користе фундаметалне принципе кружења материје у природи. Примена процеса анаеробне дигестије за третман отпадних вода и муљева је широко распрострањен у свету. По дефиницији, анаеробна дигестија представља процес ферментације органске материје посредством микроорганизама у одсуству кисеоника, где се врши разградња и стабилизација органске материје превођењем у метан, угљендиоксид и неорганске продукте.

Анаеробна дигестија се дешава свуда где је органски материјал доступан, а редокс потенцијал мали (у условима без кисеоника). У воденим екосистемима (мочваре, седименти река и језера), када нема довољно раствореног кисеоника, развијају се анаеробне и факултативно анаеробне бактерије које разлажу органску материју (органска материја подлеже труљењу) и за овакву воду се каже да је прешла у септичко стање.

Анаеробним третманом се могу третирати отпадне воде прехранбене индустрије, комуналне отпадне воде, отпадни муљеви, односно отпадне воде са великом концентрацијом органске материје. Анаеробни третман се примењује код отпадних вода где је ниво НРК висок и износи преко 200 mg/l. Отпадне воде прехранбене индустрије имају вредност НРК од 3.000 до 4.000 mg/l.

У поступку анаеробне дигестије делују четири групе микроорганизама (бактерија) чије кумулативно дејство омогућава континуитет и стабилност процеса. Анаеробна дигестија је последица низа метаболичких интеракција између различитих група микроорганизама. Разлагање органске материје се одвија у четири фазе разградње.

1. Хидролиза биополимера:
 - Хидролиза протеина,
 - Хидролиза полисахарида,
 - Хидролиза масти.
2. Ацидогенеза:
 - Анаеробна оксидација аминокиселина и шећера,
 - Анаеробна оксидација виших масних киселина и алкохола,
3. Ацетогенеза:

- Стварање сирћетне киселине и водоника из међупродуката (масних киселина),
- Стварање сирћетне киселине из водоника и угљендиоксида,

4. Метаногенеза:

- Продукција метана из сирћетне киселине
- Продукција метана из водоника и угљендиоксида.[4]

У првој фази (хидролиза) ферментативне бактерије посредством екстрацелуларних ензима разлажу органску материју, чиме се она преводи у мање сложена растворена једињења, мономере који могу да пролазе кроз ћелијске зидове и мембране ферментативних бактерија. Током процеса хидролизе протеини се разлажу до аминокиселина, полисахариди до моносахарида, а липиди се преводе у ланац масних киселина, дакле једињења која су лако доступна за ацидогене бактерије.

У другој фази (ацидогенеза), растворене органске материје преводе се у органске киселине, алкоhole, сирћетну киселину, бутерну киселину, итд, као и у H_2 и CO_2 .

У трећој фази (ацетогенеза) производе друге фазе ацетатне бактерије.

Четврта фаза је фаза метанског врења, где метанске бактерије од производа из претходне фазе граде метан CH_4 и угљендиоксид CO_2 . Ове бактерије су изузетно осетљиве на присуство кисеоника, негативне утицаје пада температуре, промене рН вредности, токсичне материје, и живе у симбиози са ацетатним бактеријама. У четвртој фази, продукција метана може се вршити на два начина: разлагањем молекула сирћетне киселине на метан и угљендиоксид или редукцијом угљендиоксида водоником као дономом електрона. Генерално, око 70% производње метана потиче из разлагања сирћетне киселине.

Технолошки процес анаеробног врења условљен је постојањем и испуњавањем одговарајућих услова, како би се постигао резултат са вишим степеном разградње органских материја и задовољавајући квалитет и количина биогаса.

Основни технолошки услови за процес анаеробног врења су:

- Крупноћа и врста материјала,
- Температура у току процеса,
- Притисак у дигестору,
- Вредност рН,
- Квалитет метанских бактерија,
- Безкисеонична атмосфера дигестора,
- Време задржавања супстрата у дигестору,

- Однос угљеника и азота у супстрату,
- Мешање супстрата у дигестору,
- Однос суве органске материје и воде у супстрату.

Сваки од наведених услова има одређени степен утицаја на нормалан ток процеса анаеробног врења. Да би се ти услови могли обезбедити, потребно је познавати њихову природу и у којој мери могу утицати на процес анаеробног врења.

- **Крупноћа и врста материјала**

Органски материјал који се улаже у дигестор неопходно је да буде што ситнији, како би процес врења имао нормалан ток. Супстрат крупнијих честица продужава време анаеробног врења, што за собом повлачи повећање потребне запремине дигестора. Зато је на постројењу за пречишћавање градских отпадних вода, неопходна уградња решетака, песколова и таложника за претходну обраду.

- **Температура одвијања процеса**

Температура при којој се одвија процес анаеробног врења је веома важан параметар, од којег не зависи само којег типа ће бити процес, него и колико ће се биогаса добити, колико ће дуго трајати процес врења и колики ће бити степен разградње органске материје.

- **Притисак у дигестору**

Притисак биогаса у дигестору је углавном условљен потребним притиском биогаса код потрошача и величином губитака у цевоводу и уређајима за пречишћавање и регулацију притиска. Узимајући у обзир све наведено може се рећи да је уобичајена величина натпритиска гаса у дигестору између 2,5 до 4 kPa.

- **Вредност pH**

Вредност pH је по важности један од битних технолошких услова анаеробног врења. За време трајања анаеробног врења, зависно од тога која се фаза одвија, вредност pH се мења у границама од 5,5 до 8,2. У случају да се супстрат додају у дигестор континуирано сваког дана, тада се pH вредност креће у границама од 6,5 до 7,5. Иначе је пожељно да овај интервал буде нешто ужи, односно да се pH вредност креће у границама од 6,8 до 7,2. Важно је знати да што је супстрат у дигестору киселији, слабији је рад метанских бактерија.

- **Квалитет метанских бактерија**

Брзина и обим производње биогаса, односно његовог најважнијег састојка – метана, условљене су квалитетом метанских бактерија. Квалитет метанских бактерија зависи од осталих услова који владају у дигестору: температура, притисак, киселост, мешање супстрата. У новије време врше се истраживања са циљем да се створи хибридна метанска бактерија која би имала већу продуктивност и отпорност.

- **Безкисеонична атмосфера дигестора**

Безкисеонична атмосфера у дигестору је основни услов за постојање процеса анаеробног варења, јер само у безкисеоничној атмосфери дигестора могу се развијати и бити активне метанске бактерије. Обезбеђење безкисеоничне атмосфере врши се добрим заптивањем свих спојева и састава конструкције и цевовода. У почетку рада дигестора процес је аеробан, тј. у кисеоничној атмосфери, па се развијају аеробне бактерије. Кад оне потроше расположиви кисеоник, тек онда почиње процес анаеробног варења.

- **Време задржавања супстрата у дигестору**

Време задржавања супстрата у дигестору зависи од процеса анаеробног варења, а то значи од температурског режима.

- **Однос угљеника и азота у супстрату**

За нормалну активност и репродукцију метанских бактерија неопходан услов је повољан однос угљеника и азота у материји која се дигестира. Сматра се повољним однос $C : N$ од 25 : 1 до 35 : 1. Најбољи однос је 30 : 1. Овакав однос је потребан зато што метанске бактерије за око 30 пута брже троше угљеник него азот. На одржавање односа угљеника и азота, као и на количину угљеника у дигестору повољно делује свакодневно додавање супстрата и добро мешање у дигестору.

- **Мешање супстрата у дигестору**

Метанске бактерије су мале покретљивости, а како се брзо размножавају и још брже користе састојке супстрата у својој активности, неопходно је довести их у позицију да се наведене активности неометано обављају. Мешање доведеног супстрата у дигестору има за циљ да се реши проблем који настаје због слабе покретљивости метанских бактерија. Мешање је повољно ради спречавања таложења тежих честица на дно

дигестора, а што води смањењу активне запремине, односно запремине у којој су активне метанске бактерије.

- **Однос суве материје и воде у супстрату**

У свакој од фаза анаеробног врења врло је важан садржај воде у супстрату. Ако нема воде у довољној количини тада се активност метанских бактерија успорава, а ако је воде превише разградња не може да се обави у предвиђеном обиму, па је материја која напушта дигестор готово неразграђена. У зависности од врсте органске материје потребно је да учешће суве материје у воденом раствору буде 6,5 до 12 %.

3.2. Реактори за анаеробну дигестију

Постоје два типа реактора која су у употреби: 1) реактор са стандардном брзином дигестије (ниско оптерећена трулишта) и 2) реактор са великом брзином дигестије (високо оптерећена трулишта). Код стандардне брзине дигестије садржај дигестора се обично не загрева и не меша. Време трајања овог процеса варира од 30-90 дана. Код велике брзине дигестије дигестор се загрева и потпуно меша. На тај начин се фаворизује раст термофилних бактерија (оптимална температура од 40 °C до 60 °C) и мезофилних бактерија (оптимална температура од 20 °C до 40 °C). Захтевано време дигестије је 15 дана или краће. Брзи процеси дигестије се одвијају у реакторима са термофилном дигестијом, применом анаеробних контакт дигестора и применом фиксних реактора са хибридним контактом.

У дигесторима је обезбеђено мешање на један од следећих начина:

- помоћу механичких мешалица,
- рецикулацијом гаса или
- рецикулацијом муља.

Савремена решења реактора дозвољавају више нивое оптерећења, повећану производњу биогаза и нуде већу стабилност процеса. Када се анаеробне бактерије у овим системима адаптирају на отпадне воде, онда долази до повећане стабилности. Из примарне фазе пречишћавања, отпадна вода иде у резервоар за кондиционирање, где се врши корекција рН вредности и додају нутријенти, пре него што се дистрибутивним системом пусти у анаеробни реактор. Анаеробни реактори се данас могу применити и за мање загађене отпадне воде, где је НРК у граници између 1.500 до 3.000 mg/l.

Најпознатији и највише коришћен анаеробни реактор за пречишћавање отпадних вода је UASB (Upflow Anaerobic Sludge Bed) реактор. UASB реактори се могу користити за третман отпадних вода из прехранбене индустрије и третман комуналних отпадних

вода, због брзог уклањања органских материја, једноставности рада, ниског степена механизације, ниских трошкова одржавања, као и малог утrophка додатне енергије. Овај процес је посебно погодан за отпадне воде са ниским садржајем органске материје и са релативно ниским садржајем НРК(< 2000 mg/l). У оваквом систему отпадна вода се усмерава на дно реактора. Отпадна вода пролази кроз прекривач (sludge bed) од природно створених бактеријских гранула (флокула) са добрим карактеристикама таложења. Муљни прекривач се састоји од флокула или гранула пречника од 0,5 до 2 mm. Задржавање муља се занима на формирању муљног агрегата у облику флокула или гранула и на примени трофазног сепаративног система (GLSS уређаја). Трофазни сепаратор се користи за сепарацију финалне отпадне воде од чврсте материје (биомасе) и биогаса. Мешање је обезбеђено производњом и рецикулацијом биогаса. Производња нагомиланог биогаса изнад висине куле реактора узрокује турбулентно струјање, а повећана брзина струјања доводи до бољег контакта између муља и отпадне воде. Бактерија је носилац реакција, а природна конвекција подиже мешавину гаса, отпадне воде и гранула муља на врх реактора.

Неки истраживачи и стручњаци предлажу замену GLSS уређаја са упакованим лежиштем у горњем делу реактора. Овај такозвани проточни хибридни реактор представља обједињавање UASB реактора и UAF реактора (реактора са анаеробним филтером). Око 2 до 3 % од свих инсталираних анаеробних реактора су хибридни реактори. Хибридни реактори су добри за постизање већег степена прераде комуналних отпадних вода, због побољшаног уклањања чврстих и колоидних материја.

До сада најпознатији пример UASB концепта је развијен у Холандији у раним седамдесетим годинама од стране професора Lettinga. Сматра се да је 90 % новоинсталираних реактора са вишим нивом оптерћења типа UASB.

3.3. Третман и одлагање муља

Отпадни материјали из процеса прераде отпадних вода требало би да имају висок удео издвојених компонената, и мали удео преостале влаге. Код већине постројења за пречишћавање, продукти из процеса пречишћавања су у виду муља са масеним уделом воде 96 – 98%. Избор поступака обраде и одлагање муљева највише зависи од њихових карактеристика. Муљеви су, у општем случају, веома различити, нарочито муљеви од пречишћавања индустријских отпадних вода.

Од количине муља и концентрације суспендованих честица највише и зависи начин обраде муља. Треба нагласити да уобичајено изражавање концентрације суспендованих честица у муљу, преко процената масе суве материје, не даје пуну информацију о понашању муљева, јер је запремина суспендованих честица, због њихове хидратисаности, заправо много већа. Нарочито је то случај са активним муљем. На пример, активни

муљеви са 0,2 – 2% суве масе могу имати запреминске концентрације суспендованих честица 25 – 50 %. Сем тога, само изражавање концентрације (мери се у mg/l) у процентима је погрешно, али уобичајено у пракси, при чему је та грешка мала и занемарљива за мале концентрације, и за муљеве са суспендованим честицама малих густина (активни муљ, на пример).

Концентрација суспендованих честица има највише утицаја на реолошке карактеристике муљева. У општем случају, муљеви се не понашају као њутновски флуиди већ имају особине пластичних и псеудопластичних материјала, и важно је познавати њихове реолошке карактеристике (вискозност на првом месту) да би се на одговарајући начин извела опрема за транспорт и обраду муљева: пумпе, мешалице, вентили, цевоводи. Муљеви се морају обрадити пре одлагања. У табели 1. наведени су најважнији поступци обраде муљева.

Табела 1. Поступци обраде муља[3]

Поступак	Сврха поступка
Угушћивање • Гравитационо • Флотационо	Повећање концентрације суспендованих честица и смањење запремине муља.
Стабилизација • Анаеробна • Аеробна	Разградња муља (смањење концентрације суве материје).
Кондиционирање • Додатак хемикалија • Термичка обрада	Промене у конзистенцији муља усмерене ка побољшању обезводњавања и повећању концентрације муља.
Обезводњавање • Вакум филтрација • Центрифугисање • Спори пешчани филтри	Смањење запремине муља и формирање влажне муљне „погаче“.
Сушење и оксидација • Спаљивање • Сушење • Оксидација влажним ваздухом	Сушење или оксидација муљне погаче.
Одлагање • Депонија • Разбацивање по обрадивом земљишту • Лагуне • Море	Одлагање или коришћење стабилизованог муља.

Који ће се од поступака применити, и којим редоследом, зависи од читавог низа фактора: физичких, хемијских и биолошких карактеристика муља, расположивости и карактеристика места за одлагање муља, могућности рецикулације појединих конституената муља, цене и прихватљивости појединих поступака обраде муља.

Сваки процес прераде муља има своје предности и недостатке. При избору поступка неопходно је разматрати два питања: у којој мери поступак обезбеђује заштиту средине и какви су економски ефекти примене продуката из прераде.

Поступци уклањања муља могу се поделити у две групе:

1. Утилизациони поступци у којима је циљ максимално искоришћење енергије и сировина из муља (сагоревање, гасификација)
2. Ликвидациони поступци у којима је циљ елиминисање целе масе муља да би се спречило нагомилавање и дејство штетних компонената из муља (сагоревање муља, коришћења топлотне енергије, трајно затрпавање).

Према примењеној технологији, поступци прераде муља могу бити:

1. Биолошки, у којима физичко – хемијска разградња органске компоненте из муља врше живи организми (депоније, компостирање).
2. Технички (хемијски) поступци код којих се физичко – хемијска разградња муља врши коришћењем хемијске енергије садржане у муљу. Ту спада: сагоревање, пиролиза, хидролиза, гасификација.
3. Механички поступци који имају за циљ само механичку трансформацију појединих компонената или муља у целини. Један од ових поступака је пресовање неорганске компоненте из смећа и добијени пресовани блокови користе се у грађевинарству.

Биолошки поступци обраде муља изводе се у циљу:

- производње компоста,
- побољшање остатака муља за одлагање (механичко – биолошки поступци),
- биолошке стабилизације остатка муља (поступци стабилизације).

Компостирање је најједноставнији начин обраде биолошки разградљивог муља. То је биохемијски процес прераде компонената муља у стабилан производ компоста који је сличан хумусу. Компостирање је аеробан процес и одвија се у мезофилним и термофилним стадијумима. Мезофилне бактерије су активне при температури од 15 - 20°C, а термофилне при температурама од 45 - 60°C. Технологија стварања компоста може се класификовати према три критеријума: коришћењу кисеоника, температури и начину вођења процеса. Са становишта коришћења кисеоника компостирање може бити аеробно

и анаеробно. Процес компостирања може се одвијати у наслагама (гомилама) муља или у механизованим уређајима.

Поступци механичко – биолошке обраде муља развили су се на бази досадашњих искустава одлагања остатка муља у земљама Западне Европе. Поменућа обрада врши се само за остатак муља после издвајања корисних компоненти из муља.

При процесу механичке обраде муља врши се издвајање корисних компоненти из остатка муља:

- метала,
- папира,
- пластика,
- неметала,
- издвајање штетних материјала које није дозвољено одлагати на депоније.

Основне предности механичко – биолошке обраде остатка муља су:

- материјали који нису подесни за одлагање у депоније издвајају се и одлажу у посебне депоније,
- количина депонијског филтрата у телу депоније се смањује,
- мања продукција депонијског гаса,
- побољшава се збијање и густина муља.

За разлику од биохемијских анаеробних и аеробних дуготрајних процеса разградње муља, гориве компоненте муља могу се обрадити и термички. При термичкој преради муља одвијају се хемијске реакције при којима се ослобађа енергија (егзотермне реакције), или је потребно доводити енергију (ендотермне реакције).

Термичка прерада муља изводи се следећим поступцима:

- сагоревање,
- пиролиза,
- гасификација.

Током сагоревања муља настају отпадни гасови и чврст остатак (пепео). У отпадном гасу налази се читав низ загађујућих компонената SO_2 , HCl , HF , NO_x итд. Сумпор-диоксид (SO_2) и хлороводоник (HCl) су основни представници киселих гасова. Ту спадају у мањим концентрацијама још и флуороводоник (HF) и сумпор-триоксид (SO_3). Кисели гасови су главни узрочници појаве нискотемпературске корозије на хладним деловима постројења за сагоревање муља. Ради оптималног коришћења

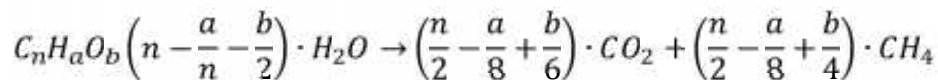
постројења за сагоревање муља, као и заштите животне средине неопходно је познавање утицаја процесних параметара на услове кондезације димних гасова.

Деценијама уназад гради се опрема за сагоревање муља. Технологија је достигла висок ниво. При сагоревању муља мора се задовољити низ услова. Чврсти остатак мора бити стерилан. Димни гасови не смеју садржавати продукте непотпуног сагоревања CO , H_2 , C_mH_n . Температура димних гасова у постројењу мора бити најмање $800-900^\circ\text{C}$ да би се потпуно разградиле органске компоненте. Ложишни простор за сагоревање муља требало би да обезбеди сушење и паљење јако влажних компонената из муља, са масеним уделом влаге и до 70%. Сагоревање муља се спроводи или у централним постројењима или непосредно на местима настајања муља. Постројење се може оптимално подесити при чему се може укључити и пиролиза муља. Димни гасови се пречишћавају јер се морају задовољити норме емисије. Сагоревања у слоју на решетки је широко примењивана технологија за сагоревање свих врста муља. Ова постројења су капацитета од 50 до 100 t/дан. Просечна температура гаса у котловском делу постројења креће се од 870 до 980°C , при чему температура гаса може достићи и вредности од 1.650°C . Ово има за последицу повећану емисију азотних оксида NO_x . Време задржавања муља у ложиштима је око четири сата.

3.4. Продукција биогаза

Биогас се састоји од 55-70% метана (CH_4) и 30-45% угљендиоксида (CO_2) и може се користити за производњу енергије спрегом мотора са унутрашњим сагоревањем и генератора. Топлотна моћ биогаза је $20-25 \text{ MJ/Nm}^3$. Примењује се и метанизација гаса, када се из њега издваја угљендиоксид, те је по саставу сличан природном гасу. Тада може да се убацује у мрежу за дистрибуцију природног гаса, или да се користи као гориво за моторе са унутрашњем сагоревањем.

Количина произведеног метана зависи од више параметара, али највише од врсте отпада, типа реактора, температуре и садржаја чврстих компонената. Busiwellled i Meller (1952) су утврдили да је стехиометријска једначина за продукцију метана:



Биогас добијен анаеробним врењем органских отпадних материја, спада у групу горивих гасова. Састав и особине биогаза мењају се у зависности од врсте полазног материјала и од технолошких услова за време процеса дигестије. Публиковане вредности топлотне моћи биогаза добијеног анаеробним врењем се донекле разликују од аутора до аутора, али се углавном крећу око 20 MJ/m^3 . Топлотна моћ биогаза може се повећати уколико се одстрани CO_2 . Такође, може бити корисно одстранити влагу из биогаза, тј.

осушити га. Сушењем биогаза водониксулфид (H_2S) који се у њему налази престаје да буде корозиван, па задржава и даље свој карактеристичан упозоравајући мирис.

Уопште речено, биогаз се састоји из горивих и негоривих компоненти. Од горивих је најзначајније присуство метана, а од негоривих гасних компоненти најзначајније је присуство угљендиоксида, као што је наведено у табели 2.

Табела 2. Састав биогаза

Гориви састојци биогаза		Негориви састојци биогаза	
Назив гаса	Запремински Удео (%)	Назив гаса	Запремински Удео (%)
Метан (CH_4)	55-75	Угљендиоксид (CO_2)	25-45
Водоник (H_2)	0-1	Азот (N_2)	0-2
Водониксулфид (H_2S)	0-1	Кисеоник (O_2)	0-0,5
		Водена пара (H_2O)	0-2
		Амонијак (NH_3)	0-2

Обзиром да је по свом карактеру биогаз смеша више гасова, његова густина зависи и мења се према појединачним запреминским уделима сваке од заступљених гасних компоненти. На квалитет биогаза се може утицати и његовом дорадом после изласка из дигестора, нарочито у смислу поправке његових горивих особина. Поправка горивих особина биогаза креће се у правцу смањења негоривих састојака и елиминације штетних горивих састојака.

3.5. Пречишћавање биогаза

У зависности од услова примене, потребно је биогаз пречистити од одређених компонената (воде, угљендиоксида и водониксулфида). Вода се одстрањује без обзира на даљу примену биогаза, јер представља сметњу за складиштење у резервоарима под високим притиском.

Водониксулфид је потребно одстранити у случају примене биогаза у моторима са унутрашњим сагоревањем, а смањити садржај у случају примене у гасним котловима. Пошто је одстрањивање водониксулфида у потпуности веома скупо, прихватљиво је да га у биогазу има до $1,1 \text{ g/m}^3$, што је максимално дозвољена концентрација када се његова корозивна својства још не испољавају.

Угљендиоксид се издваја из биогаса када је потребно добити гас веће топлотне моћи. Влага се из биогаса издваја на крају линије пречишћавања, јер се у процесу пречишћавања мокрим поступком појављује додатна влага.

Водониксулфид се одваја на више начина, по сувом или мокром поступку. Мокри поступак се заснива на растворљивости водониксулфида у води, односно одвија се тако што се биогас проводи кроз овлаживаче (тушеве). Суви поступак се одвија провођењем биогаса кроз апарат испуњен оксидом гвожђа са којим он формира гвожђесулфид. Гвожђесулфид се регенерише продувавањем загрејаног ваздуха.

Угљендиоксид се у случају примене мокрог поступка за издвајање водониксулфида издваја у истом уређају, јер је и угљендиоксид растворљив у води. За боље издвајање угљендиоксида уместо обичне користи се кречна вода.

4.Примери потрошње енергије у постројењу за третман вода и отпадних вода

Постројења за пречишћавање вода и отпадних вода користе око 4% енергије у US. Код постројења за пречишћавање вода највећи потрошачи енергије су пумпе, док код постројења за пречишћавање отпадних вода, секундарни и терцијални третман су процеси који захтевају највећу количину енергије. Смањење потрошње енергије у постројењу за пречишћавање вода и отпадних вода почиње са ревизијом одређеног постројења. [5]

Постоји неколико начина третмана вода и отпадних вода. Постоје постројења која контролише град, регија или држава. Најчешће су ова постројења под управом општина. Такође, ове ревизије се могу применити и на индустријске отпадне воде. Не смемо да заборавимо поновну употребу воде и десалинизацију. Ово су процеси који захтевају доста енергије.

За опслуживање постројења за третман вода и отпадних вода, користи се мрежа пумпних станица. Системи имају пумпне станице за слање сирове воде на третман или пумпање третиране воде кроз дистрибутивну мрежу. Такође, системи отпадних вода имају пумпне станице у систему за сакупљање и за испоруку отпадне воде у постројењу за третман. Величина и локација ових пумпних станица је одређена позицијом и границама постројења за третман вода и отпадних вода.

Постројења за третман отпадних вода имају три дела :

1. Пумпање сирове воде у постројење за третман отпадних вода.
2. Третман : коагулација и флокулација, седиментација, филтрација, дезинфекција.
3. Дистрибуција.

Третман отпадних вода има 4 нивоа:

1. Прелиминаран,
2. Примаран,
3. Секундаран,
4. Терцијалан или напредни третман.

Постројења за третман отпадних вода морају да имају бар секундарни третман, али у случају вандредних услова постројења могу имати само примарни третман. Терцијални или напредни третман, постају све уобичајнији, али зависе од локалних стандарда.

Отпадна вода садржи до десет пута већу количину енергије од енергије која се користи и троши за њихов третман. 2011. године укупна потрошња електричне енергије је била 4,125,060 хиљада MWh, од којих је 4% искоришћено у процесима за третман отпадних вода.

Стандарди третмана отпадних вода су дефинисани од стране ЕРА (Агенција за заштиту околине) која је надлежна за секундарни третман. Секундарни третман се односи на биолошки третман у постројењу за пречишћавање отпадних вода.



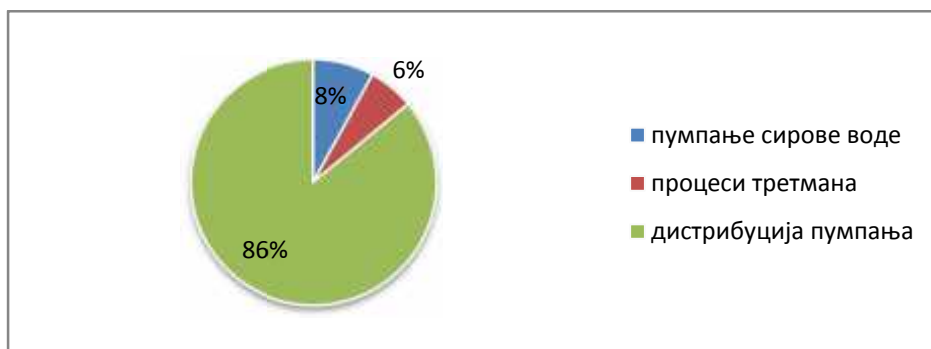
Слика 4. Потрошња енергије у зависности од нивоа третмана отпадних вода

Слика 4. приказује потрошњу енергије за разне процесе третмана отпадних вода, и на њој можемо видети како потрошња енергије расте са повећањем комплексности процеса. У будућности се очекује да ће регулативе везане за третман отпадних вода бити

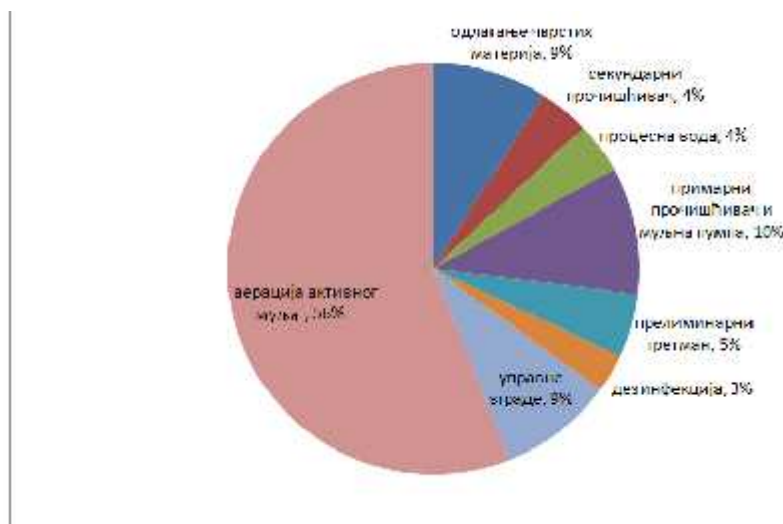
строжије. ЕРА не поставља законе који се односе на целу државу, већ појединачне који важе за поједине регије, области. Сходно томе, сваки нови стандард ће захтевати нове процесе, нове капиталне инвестиције и нове начине третмана вода и отпадних вода, што захтева нову количину енергије.

4.1. Енергетски биланс

Енергија се другачије користи у постројењу за пречишћавање воде, а другачије у постројењу за пречишћавање отпадних вода. Приликом третмана воде између 80 и 90 % искоришћене енергије се користи за пумпање било сирове воде или третиране. Код постројења за пречишћавање отпадних вода, аерација и одлагање муља су процеси који троше највећу количину енергије. Аерација је велики потрошач енергије, зато што захтева дистрибуцију ваздуха системом дуваљки. Дуваљке као и пумпе су велики потрошачи енергије. Због тога UV дезинфекција постаје све заступљенија приликом третмана вода и отпадних вода. Ово је такође процес који захтева пуно енергије. Сlike 5. и 6. показују потрошњу енергије по процесима у постројењу за третман вода и отпадних вода.



Слика 5. Типична потрошња енергије у постројењу за третман воде



Слика 6. Типична потрошња енергије за пречишћавање отпадних вода[5]

У постројењима за третман отпадних вода постоји пуно прилика за поновну употребу енергије, сирова вода која долази у ова постројења садржи: хемијску, термалну и хидрауличку енергију.

1. Хемијска енергија – енергија садржана у разним органским материјама отпадних вода.
2. Термална енергија – топлотна енергија која се налази у отпадним водама.
3. Хидрауличка енергија – ова енергија зависи од протока воде у постројењима за третман отпадних вода.

Енергетски биланс за постројење за третман отпадних вода је приказан на слици 7. У представљеном примеру „купљена енергија“ у облику електричне и природног гаса се користити за третман воде. При третману отпадних вода добијамо топлоту, биогаз и хидрауличку енергију. Насупрот томе, третман воде има незнатно другачији енергетски биланс приказан на слици 8. Сирова вода не садржи никакве масноће уља или висок ниво органских материја из којих можемо вршити повратак енергије. Отпадна вода из процеса пречишћавања воде, слично као код пречишћавања отпадне воде има топлоту и хидрауличку енергију коју можемо поново да искористимо.



Слика 7. Енергетски биланс у постројењу за пречишћавање отпадних вода



Слика 8. Енергетски биланс у постројењу за пречишћавање вода

5. Начини подизања енергетске ефикасности у постројењима за третман отпадних вода

Постројења за третман отпадних вода су често сачињена од комплексних инфраструктурних система. Поновно пројектовање целокупног система би представљало велики финансијски издатак, па само побољшање у функционисању појединих подручја могу довести до значајних могућности за уштеду.

Пумпе представљају највеће потрошаче електричне енергије у сваком постројењу за прераду отпадне воде. Постројења се пројектују тако да могу да прераде не само максимална дневна оптерећења, већ и вршна оптерећења која потичу од прилива атмосферских вода, током кишне сезоне. Из тог разлога, инсталиране пумпе већи део времена раде са капацитетом мањим од номиналног.

На пример, у делу пројектовања система за пумпање, Конфедерација индијске индустрије предлаже системски приступ за утврђивање потенцијалних могућности уштеде. На основу искуства, предвиђа се да су могуће уштеде енергије до 25 % приступањем систематичној методологији сажетој у следећих шест питања:

- Да ли је пумпа заиста потребна?
- Да ли је пумпа правилно пројектована?
- Да ли је пумпа стварно ефикасна?
- Да ли је спој пумпе са системом одговарајући?
- Да ли је инсталисан погон са променљивом брзином да би задовољио променљиве захтеве?
- Да ли су контроле ефикасне?

Ова питања, иако се односе на пумпе, баве се интересантним темама и питањима који могу да се односе и на целокупни систем.

Пројектанти система често предимензионишу опрему да би осигурали да ће опрема испуњавати максимална оптерећења система. У неким случајевима, прекорачење може износити и до 50%. Поред неефикасности, проблеми у раду предимензионисаних система могу укључивати прекомерну буку насталу протоком воде, вибрације цеви и слаб резултат. Предимензионисање такође може довести до непотребних великих трошкова за материјале, инсталацију и рад.

Корекције у предимензионисаним системима за пумпање укључују:

- инсталацију правилно димензионисане пумпе,

- инсталацију мотора са променљивом брзином,
- смањење радног кола пумпе,
- додавање мање пумпе да би се смањио наизменичан рад.

Прелазак на новију и ефикаснију опрему ће вероватно побољшати делотворност система, ако је опрема правилно димензионисана и интегрисана у целокупни систем. Опрема која ће вероватно донети највеће уштеде укључује:

- енергетски ефикасне моторе,
- погоне са променљивом брзином,
- радна кола пумпе,
- цеви и облоге са малим трењем,
- вентиле,
- кондезаторе.

✓ **Ефикасни мотори**

Одабир мотора за пумпу који ради ефикасније доприноси повећању укупне ефикасности система за пумпање. Уз то, да би радио ефикасно, мотор се мора одабрати тако да ради правилно у спрези са пумпом, то јест да испуњава различите захтеве пумпе, као што су време стављања у погон, број укључења и искључења, брзина пумпања и потребан обртни момент.

✓ **Погони са променљивом брзином**

Да би се подмириле потребе при условима променљивих оптерећења, једна од најбољих доступних опција за побољшање ефикасности је инсталисање мотора са погоном променљиве брзине. Као што и само име говори, погони са променљивом брзином прилагођавају брзину пумпе да би се испунили одређени захтеви датог система у датом времену. Познати тип погона променљиве брзине је погон са променљивом фреквенцијом, који користе електронске контроле за регулацију мотора. Успоравањем предимензионисане пумпе погон променљиве брзине смањује енергетске губитке приликом пумпања. Погон променљиве брзине најбоље функционише у системима који имају повећано трење.

✓ **Радно коло**

Још једна алтернатива за побољшање ефикасности је инсталисање мањег радног кола или прилагођавање радног кола у постојећој пумпи. Радно коло је покретни део центрифугалне пумпе који потискује течност кроз систем. Слично као код погона са променљивом фреквенцијом, мање или прилагођено радно коло смањује брзину течности

да би се смањили енергетски губици. Због тога што прилагођавање радног кола смањује проток, смањени су губици настали трењем у заобилазним водовима и вентилима.

✓ **Цеви и облоге са малим трењем**

Цеви произведене од глатког материјала, као што је поливинил хлорид, у поређењу са стандардним цевима могу смањити губитке настале трењем. Цеви са малим трењем могу повећати уштеду енергије за 6 до 8%. Употребом одређених облога од смоле и полимера у унутрашњости пумпе могу се постићи додатне уштеде од 1 до 3%. Облоге такође могу смањити ерозију и корозију у цевима и пумпама.

✓ **Вентили**

Вентили имају критичну улогу у сваком систему, контролишући проток и притисак. Постоје бројни типови вентила за различите функције. Међутим, приликом одабира одговарајућег вентила за специфичну намену, треба размотрити утицај вентила на ефикасност система. Неки вентили праве веће трење у систему од других. На пример, пригушни вентили су ефикаснији од вентила за преусмеравање. То је зато што, кад је пригушни вентил затворен, још увек је у могућности да одржава притисак који може помоћи у кретању воде кроз паралелне делове система. Енергија која се користи за пумпање воде која је преусмерена у систему, употребом вентила за преусмеравање се расипа.

✓ **Кондезатори**

Инсталација кондезатора може смањити утрошак енергије потребне за рад одређене опреме. Кондезатори су уређаји који прикупљају електричну енергију и користе се за кориговање ниског фактора снаге. Поједина електрична опрема, попут трансформатора, мотора и јаке расвете, за време рада ствара магнетна поља, што узрокује пад фактора снаге. Често је ова опрема највећи потрошач електричне енергије у постројењу. Поред расипања енергије, низак фактор снаге може узроковати преране кварове на опреми. Значајно смањење трошкова и побољшање рада опреме може се остварити инсталисањем кондезатора на неке од главних пумпи.

Имплементација мера за енергетску ефикасност у постројењима за третман отпадних вода је важна, пошто се за третман отпадних вода утроши 25 до 50% оперативног буџета постројења. За неке процесе је потребно више енергије него за друге, тако да им је потребно посветити више пажње. На пример, у постројењу за третман активним муљем, биолошкој фази се приписује 30-80% трошкова за енергију постројења.

Подземне воде и продирање кишнице у сабирни систем такође треба узети у разматрање. Са порастом ових продирања расте проток и оптерећење у постројењима за третман отпадних вода, тако да долази до преоптерећења опреме и пумпи. Коришћење одговарајућих цеви и спојева, као што су PVC цеви у одводним каналима, смањује продирање и коришћење одговарајуће заобилазнице на улазу у постројење и скреће прекомерни ток од пумпне станице.

5.1. Подизање енергетске ефикасности у примарном третману отпадних вода

Примарни третман отпадних вода физички одстрањује чврсти материјал. У примарном третману чврсти и плутајући материјали се одстрањују у базенима за таложење. Иако већина процеса примарног третмана не захтева пуно енергије, могућности да се повећа ефикасност ипак постоје. На пример, крхотине у отпадној води се понекад мељу у дробилицама уместо да се користе сита за њихово уклањање из воде. Ако се користе дробилице касније ће бити потребно више енергије у фази секундарне обраде да би се одстранио овај материјал. Пожељно је крхотине одстрањивати помоћу сита. [6]

За даље смањење оперативних трошкова примарног третмана пречишћавања отпадних вода неопходно је:

- Одстранити што је више могуће крхотина у примарној фази, да би се избегли непотребни оперативни трошкови секундарног третмана.
- Смањити удео воде у прерађеном талогу, због тога што низак садржај воде може умањити потребе пумпањем и трошкове одлагања отпада.
- Користити погоне променљиве брзине са мехуровима за одстрањивање чврстих честица из комора.

5.2. Подизање енергетске ефикасности у секундарном третману отпадних вода

Секундарни третман отпадних вода укључује биолошко пречишћавање воде. Ти биолошки процеси су типа успореног биолошког раста, као што је активни муљ, или типа придоданог раста, као што су цурећи филтери или биолошке везе. Други тип, који се обично употребљава у постројењима средње величине, троши мање енергије од активног муља. Трошкови енергије повезани са сваком од ових опција очигледно ће бити одлучујући фактор за коначан одабир опције.

За секундарни третман се троши много више енергије него за примарни третман, тако да се повећањем ефикасности може доћи до значајних уштеда. На пример, уређаји за довођење ваздуха, као што су распршивачи, дифузори или механички мешачи, који

обезбеђују кисеоник за микроорганизме и мешају отпадну воду са муљем, троше велику количину енергије.

Уређај за мешање треба пажљиво изабрати. Дифузори који праве ситне мехуриће су енергетски ефикаснији од дифузора који праве крупне мехуриће, због тога што мањи мехурићи омогућују већи пренос кисеоника. Прелаз са дифузора који праве крупне мехуриће или механичких мешача на систем са дифузорима који праве ситне мехуриће требао би да снизи трошкове енергије потребне за довођење ваздуха за најмање 25%. Међутим, дифузори који праве ситне мехуриће могу изискивати више одржавања од дифузора који праве крупне мехуриће да би остали чисти и да би оптимално радили. Најбољи избор за поједина постројења одређује тип и састав отпадне воде.

Постоје и други процеси који се могу предузети да би се побољшала ефикасност секундарног третмана:

- Инсталација контролних уређаја на систем за довод ваздуха. Ови уређаји оптимизирају пречишћавање воде контролисањем и подешавањем количине ваздуха која се убацује у базене са отпадном водом.
- Испитивање оксидацијског јарка, ако постројење ради по систему лагуне. Системи са оксидацијским јарком се сматрају ефикасним и лаганим за употребу. Такође не производе никакву буку или мирисе ако се правилно употребљавају. Код лагунских система, за разлику од танкова, мора се водити рачуна да се не загаде водени токови, реке и језера.
- Оптимизација тока воде, ако постројење има цуреће филтере који захтевају да отпадна вода циркулише преко филтера. Циркулација отпадне воде може се смањити када је смањено оптерећење постројења отпадним водама, на пример ноћу, међутим, проток мора бити довољан за одржавање раста бактерија.
- Смањење удела воде у секундарном талогу да би се минимизирали трошкови пумпања и одлагања отпада.
- Ако се разматра увођење муља са активацијом путем продуженог излагања ваздуху, треба такође размотрити и увођење муља са конвенционалном активацијом, због тога што продужено излагање ваздуху захтева резервоаре за ваздух четири до шест пута веће него код конвенционалног система, уз потрошњу четири до шест пута веће количине енергије.

- Ако је земљиште доступно и ако је систем са вештачким језером могућа опција, важно је приметити да минимално уређена вештачка језера без додатног довођења ваздуха не троше енергију, док је за вештачка језера са додатним довођењем ваздуха потребно око 3-6 kWh/m³.

5.3. Начини дезинфекције

После примарног и секундарног третмана, чврсти материјали одстрањени из воде или муља по правилу захтевају даљу обраду, нудећи додатне могућности за унапређење ефикасности. На располагању је неколико метода третмана отпада, као што су исушивање, компостирање, стабилизација, сабијање, сушење ваздухом и спаљивање. Код исушивања отпада, различити системи, као што су филтерске пресе, центрифуге и вакумски филтери, имају различиту потрошњу енергије и цену одржавања. Запослени треба да процене користи и добити које постоје и да их упореде са трошковима енергије, рада и одржавања и одлагања отпада. Спаљивање, друго решење за обраду отпада, може знатно да смањи запремину одложеног отпада. Међутим, ако је спаљивање одабрано као технологија, мора се увести контрола аеро загађења да би се спречило пропадање водених ресурса до којег може доћи уласком загађивача из ваздуха у воду.

Сва вода која прође примарни и секундарни третман мора се дезинфиковати због заштите од зараза. Три главна дезинфекциона процеса за отпадне воде су хлорисање, озонирање и излагање ултравиолетном (UV) зрачењу. Многи општински системи за третман питке и отпадне воде користе хлорисање као дезинфекциону методу. Иако то није познато јавности, треба приметити да органске хлорне хемикалије, које се користе за овај дезинфекциони процес, могу утицати на здравље становништва. Имајући у виду потребу балансирања утицаја хлорисања на околину са текућим потребама за ефикасном дезинфекцијом, многа постројења се окрећу ка другим начинима дезинфекције.

Озонирање и UV зрачење су два додатна начина дезинфекције који не остављају никакве хемикалије у третираној води. Системи за третирање озоном се користе за третман питке воде од раних 1900-тих. 1970-тих година инжењери пројектанти у САД су почели да траже начине за коришћење озона уместо хлора за дезинфекцију отпадних вода. Системи за дезинфекцију озоном производе озон коришћењем електричног пражњења, које је слично муњи за време олуја. Потом се озон меша са питком или отпадном водом да би се постигла жељена дезинфекција.

У процесу UV зрачења, UV зраци дезинфикују отпадну воду онеспособљавајући патогене организме изазивањем фотохемијских промена унутар ћелија организма. UV дезинфекција се функционално разликује од хлорисања и озонирања зато што се током UV процеса патогени организми не уништавају него губе способност размножавања. У

UV систему за дезинфекцију, природна UV дезинфекција се убрзава интензивним концентрисањем UV зрака.

UV системи су, по правилу, јефтинији за изградњу и рад у поређењу са озонирањем. Код UV система и система за озонирање трошкови рада, одржавања и енергије зависе од квалитета воде. У САД-у је UV систем јефтинији од система за хлорисање. То је тако највише због опасности које настају складиштењем хлора и трошкова осигурања против евентуалних несрећа у постројењу. [6]

5.4. Могућности уштеде електричне енергије у постројењима за третман отпадних вода

Према месту настајања у постројењу за третман отпадних вода, генерално се разликују следеће могућности за уштеду електричне енергије:

- Опште мере (мере које се односе на цело постројење, табела 3.),
- Мере које се односе на процесне електромоторе,
- Мере за побољшање и контролу расвете.

5.4.1. Опште мере

Искључивање опреме која се не користи је најједноставнији начин остваривања уштеде енергије, који се може постићи у било ком постројењу. Често се дешава, да многи уређаји у постројењима раде и ван радног времена, када престаје потреба за њиховим коришћењем (расвета, вентилатори, пумпе, компресори, итд.) Искључивањем ових уређаја могу да се остваре значајне уштеде. За ту намену, могу да се користе електронски програмабилни временски прекидачи, који према задатом временском алгоритму, искључују, односно укључују опрему.

Табела 3. Могућности за уштеду електричне енергије [7]

Опште мере	Искључивање опреме када се не користи
	Управљање оптерећењем и потрошњом
	Корекција фактора снаге
	Трансформатори
Процесни електромотори	Тарифни систем
	Замена преносника
	Замена дотрајалих и уградња енергетски ефикасних електромотора
	Замена предимензионисаних електромотора
Расвета	Употреба фреквентних регулатора
	Замена светиљки и баласта
	Контрола расвете
	Коришћење природног осветљења
	Одржавање система

Под управљањем потрошњом, подразумева се сагледавање могућности, да се део активности постројења (чијим обављањем се троши електрична енергија) пребаци у период када је по тарифном систему нижа цена електричне енергије. Овом техником се не смањује потрошња електричне енергије, већ се само утиче на смањење њених трошкова, тако што се користи у постројењу, у периоду када је њена јединична цена нижа.

Управљање оптерећењем је опција коју треба разматрати, када потрошња у постројењу знатно варира током времена, а могуће је смањење вршног оптерећења, због неких „мање важних“ потрошача или потрошача које је могуће укључити, тј. искључити.

5.4.2. Расвета

За обезбеђивање удобних радних услова и безбедности радника, важно је да у постројењу буде расположива довољна количина светлости. Још се у фази пројектовања постројења, разматрају системи за осветљење, јер се тад доносе одлуке које утичу на правилну интеграцију природне (дневне) и вештачке светлости.

Количина светлости коју извор светлости исијава у околни простор у јединици времена је светлосни флуks (lm).

Ефикасност система осветљења зависи од правилног избора светлосних извора, пригушница и електричних светиљки, али и од начина одржавања тог система. Одржавање система електричног осветљења обухвата и чишћење и замену сијалица. Сијалице, инсталације, рефлектори, сочива и дифузори, скупљају прашину и инсекте. Скупљање прашине на уређајима осветљења и на површинама које су у њиховој близини, смањују искоришћење осветљења за око 40 % и повећавају производњу топлоте. Повремено чишћење светлосних инсталација има за резултат њихово очување и равномернију расподелу нивоа осветљења.

Опадање вредности светлосног флуksа електричне сијалице јавља се при њеном старењу. Ово опадање може бити знатно убрзано у случају да електрична сијалица ради у „суровом окружењу“, или ако је систем електричног осветљења подвргнут условима за које није конструисан. На пример, ако се систем електричног осветљења са флуоресцентним сијалицама укључује или искључује сваког минута, сијалица неће радити дуго.

6.Примери подизања енергетске ефикасности у постројењима за третман отпадних вода у свету

Савремена технологија омогућава мерење великог броја параметара неког процеса. За системе прераде отпадних вода значајни су следећи параметри: физички (проток, ниво воде), хемијски (pH), биолошки (присуство микроорганизама у систему). Контролисати све параметре, макар само оне најважније, у свим тачкама система очигледно је немогуће, а још мање обрадити све те податке и пренети их у удаљени центар. Не само да би цена била претерано висока, већ би се појавили и проблеми руковања толиком количином информација. Зато је очигледна потреба за разврставањем података по значају и одређивање приоритета. Систем за аларм и надзор је веома важан. Он покрива најзначајније објекте постројења за третман отпадних вода, пумпне станице, таложне резервоаре и магистралне доводе и показује да ли постројење у целини ради добро. Уколико се деси нешто неприлагођено - на пример велики квар или испадање неког виталног објекта из погона, овај систем треба да региструје и упозори особље постројења за пречишћавање отпадних вода. Овде се морају користити поуздани и прецизни мерни уређаји, обезбедити сигуран пренос информација и квалитетна и пратећа опрема.

Увођење система даљинског управљања представља само једну фазу у реализацији једног енергетски ефикасног интегрисаног информационог система. Зато тежња у домену развоја једног постројења за пречишћавање отпадних вода треба да буде формирање интегралног информационог система кроз који свако, тренутно, може да добије неопходну информацију, а да при томе не омета друге учеснике.

Примена софистицираних техничких система у системима за третман отпадних вода представља погодну основу за даљу примену нових научних и технолошких достигнућа у циљу повећања енергетске ефикасности система. Кључну технологију у поменутом смислу обезбеђује област управљања системима која и сама доживљава ренесансу наглим развојем, падом цена и веома убрзаним напредовањем микрорачунарских система.

На улазу у постројење за третман отпадних вода налазе се грубе решетке које радници постројења грабуљама чисте и отпад односе у контејнере. Отпадна вода пужним пумпама допрема се до fine решетке која се чисти полуаутоматски, по потреби. Отпад се затим тракастим транспортером пребацује у контејнер који се налази на шинама и који се ручно помера и касније се отпад одвози на депонију. Након проласка кроз fine решетке, отпадна вода улази у аерисани песколов код кога два компресора удувавају ваздух и мамут пумпе пребацују воду у предпростор (мали базен). Одатле се вода допрема у примарни таложник (велики базен). У примарном таложнику се врши уклањање муља и површинских нечистоћа. Нечистоће се из песколова и примарног таложника пумпом

пребацују у силосе. Након примарног таложника, вода се пушта у језеро у коме се врши биолошко пречишћавање отпадне воде.

У постројењима за третман отпадних вода непрекидно се мере следећи параметри процеса: температура воде и ваздуха, рН вредност отпадне воде, проток воде, проток блата и муља, падавине, влага. Аквизицију свих ових података врши централни рачунар, а подаци се чувају у електронској и штампаној форми. Аутоматизација постројења за третман отпадних вода подразумева употребу низа малих контролних система који управљају радом објекта, односно интелигентних терминала.

6.1. Пример ревизије енергетског процеса, извршеног за град Crested Butte, Колорадо, на постројењу за прераду отпадних вода

Водоводни и канализациони системи су значајни потрошачи енергије, са процењеним учешћем од 3% - 4% од укупне потрошње електричне енергије САД-а која се користи за транспорт и третман воде и отпадних вода. Питање заштите и коришћења вода има све већи утицај када се говори у контексту несташице воде, коришћења воде као обновљивог извора енергије и материјалних трошкова, али и климатских промена. У данашњем економском окружењу, у интересу за кориснике је да пронађу ефикасне системе, како у коришћењу воде тако и енергије. Вршење ревизије коришћења енергије у водоводним и канализационим постројењима (ППОВ) је један од начина да менаџери енергетске заједнице идентификују могућности да се уштеди новац, енергија и вода.

Планирањем спровођења ревизије енергије и спровођењем физичких и оперативних промена могу се остварити знатне уштеде. Енергетска ревизија може помоћи да се идентификују највећи енергетски потрошачи у објекту, открију могућности за оперативна побољшања, и открију проблеми са застарелом и нефункционалном опремом. Резултати ревизије могу помоћи да се побољша енергетска ефикасност, која представља прилику за општине да смање оперативне трошкове, као и њихов утицај на животну средину и околну заједницу.

Енергетском ревизијом идентификују се могућности за значајне уштеде енергије узимајући у обзир оне јединице процеса као што су пумпање, аерација, ултраљубичаста дезинфекција и руковање чврстим материјама где је потрошња енергије повећана. У овој студији случаја представљена је најбоља пракса која може бити лако усвојена од стране менаџера у њиховој потрази за енергетском и финансијском уштедом воде и отпадних вода. Описане стратегије за повећање енергетске ефикасности обезбеђују неопходне информације о начинима за енергетску уштеду, а које могу бити коришћене као основа за дискусију о циљевима коришћења енергије вода и третмана отпадних вода објеката.

Трошкови коришћења енергије могу да варирају у распону од 2% - 60% од укупних оперативних трошкова. Енергија представља значајан трошак у водоводним (водопривредним) предузећима и обично је потребна у свим фазама процеса обраде, од сакупљања непречишћене отпадне воде до пражњења пречишћене воде. Обзиром да водоводна предузећа нису примарно дизајнирана и коришћена као енергетски ефикасна, ови системи се могу унапредити када заједнице финансирају пројекте за енергетско унапређење. Међутим, значајне енергетске и финансијске уштеде могу се остварити кроз оперативне промене и капитална побољшања у водопривредним предузећима.

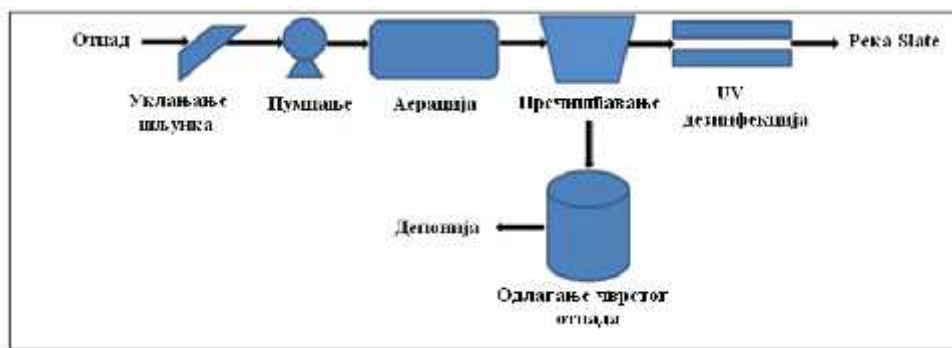
Оператори и менаџери у водоводним предузећима имају велики број приоритета, а потрошња енергије је само један од њих. Неки од њихових примарних дужности обухватају:

- ❖ пружање поузданих услуга по повољним и предвидљивим ценама,
- ❖ поправке и замена дотрајале опреме, праћење текућег стања опреме, руковођење текућим операцијама и трошковима одржавања, као и са приходима,
- ❖ оптимизација операција и процеса одржавања ради смањења трошкова и обезбеђења дуговечности средстава.

Град Crested Butte је био дужан да обавља процес ревизије енергије у својим постројењима за пречишћавање отпадних вода (ППОВ). Ревизија је била усмерена на решења за смањење потрошње енергије која су могла брзо да се имплементирају кроз модификацију и побољшање оперативних процеса. Узети су у обзир оптимизација постојећих процеса да би се остварила боља контрола, мониторинг и квалитет рада постројења за пречишћавање отпадних вода. Ревизија је такође помогла граду да прати и пореди своју енергетску потрошњу у водоводима.

6.1.1. ППОВ Crested Butte

Crested Butte је мали град који се налази на западној падини савезне државе Колорадо и главна је туристичка дестинација за спортове на отвореном. Водопривредно предузеће, изграђено 1997., користи се за снабдевање града који има 1.500 становника. Водоводно предузеће третира отпадне воде стамбених и комерцијалних потрошача, без великих индустријских испуштања. Фабрика која се налази у граду, прихвата и чврсте материје из Mt. Crested Butte водовода и санитарног одељка. Град има водоводни оксидациони јарак, са капацитетом од дозвољених 0,6 милиона галона дневно (2.271 m^3) за 30 дана просечног дневног протока. Постојење се састоји од процеса грубог уклањања, пумпања, аерације, пречишћавања, ултраљубичасте (UV) дезинфекције и процеса руковања чврстим материјама. Обрађене отпадне воде из постројења уливају се у реку Слејт (Slate river). Муљ се згушњава и суши на лицу места и затим се извлачи на локалну депонију за одлагање. Поједностављен процес дијаграма тока третмана воде у постројењу приказано је на слици 9. [8]



Слика 9. Приказ дијаграма ППОВ Crested Butte

Иако нису укључени у ову студију, енергетска ревизија која обухвата процену осветљења, грејања, хлађења и вентилационог система, такође може да доведе до значајне финансијске и енергетске уштеде у постројењима за пречишћавање воде. Постоје три нивоа у енергетској ревизији који су наведени од стране Америчког друштва за грејање, хлађење и климатизацију (ASHRE). Ови нивои се разликују у погледу нивоа сложености, дубине анализа, као и од количине детаља које ревизија може да пружи. Ревизија се креће од нивоа 1 (кретање кроз процес) па све до нивоа 3 (компјутерско моделирање).

Први ниво ревизије која је била извршена за Crested Butte обухватао је:

- ❖ процењивање енергетске потрошње и ефикасности кроз анкете на лицу места, како би се идентификовале оперативне потребе и потребе за одржавањем као и евентуални недостатак опреме,
- ❖ коришћење информација о потрошњи енергије ради разумевања навика у потрошњи како би се развила основа за енергетски ефикасне мере,
- ❖ процену потрошње енергије и мере уштеде, са нагласком на јефтине или бесплатне мере.

6.1.2. Начини подизања енергетске ефикасности у ППОВ у месту Crested Butte

У току процеса енергетске ревизије прво се приступило прикупљању података из цртежа, оперативних евиденција, рачуна за комуналије и списка опреме како би се разумела потрошња енергије у фабрици. Тим за процену је анализирао цртеже да би дошли до закључка да ли постоје оперативни или енергетски проблеми који могу бити повезани са физичким изгледом постројења. На пример, цртежи су показали да је мерач који показује количину раствореног кисеоника лоциран у аноксичној зони оксидационог јарка. Оваква конфигурација није најбоље решење, јер не даје поуздане податке о потрошњи кисеоника. Ефикасније је поставити уређај за мерење тамо где су нивои оксидације кисеоника већи од нуле, као што је на пример у близини јарка са отпадном

водом. Подаци о функционисању постројења и уређаја који се користе су приказани у табели 4. три „операционе сезоне“ :

Табела 4. Највећи потрошачи енергије у ППОВ Crested Butte[8]

Опрема	Количина	Снага (KS)	Операција	Контроле
Механички Аератор	1	75	Континуална	VFD, мануелно подешавање
Центрифуга	1	40	10-20 h/нед	VFD, константна брзина
Пумпа 1	1	4.7	Континуална	VFD, брзина зависи од протока
Пумпа 2,3	2	17.5	Пумпа 2-континуална Пумпа 3-повратна	VFD, брзина зависи од протока VFD, брзина зависи од протока
Дуваљке	3	15	Променљива	Константна брзина
Мешач	3	4	Континуална	Константна брзина
UV систем	2	7.3 (kW)	Континуална	Константна, 2 одељења

- Сезона 1 (октобар - март): мали проток, ниска оптерећења, и ниске температуре отпадних вода
- Сезона 2 (април - јун): велики проток, просечна оптерећења, и ниска температура отпадних вода
- Сезона 3 (јули - септембар): просечан проток, висока оптерећења, и више температуре отпадних вода.

Тим за процену прегледао је сву опрему како би утврдили старост и снагу постројења и опреме као и да би идентификовали главне потрошаче енергије у оквиру објекта. Скраћени списак великих потрошача енергије, заједно са својим типичним операцијама и контролама, су сумирани у табели 4. Сваки процес је детаљно разматран са запосленима у фирми.

У оквиру постројења постоји један оксидациони јарак који обезбеђује аеробно уклањање биолошке потрошње кисеоника и амонијака. Постоји и аноксични део јарка који врши денитрификацију, поправља алкалност и смањује потребе за кисеоником. Јарак има један централни грејач од 56 kW који ради са варијабилном фреквенцијом, а који се управља на основу ручног подешавања, а на основу дневног читања раствореног кисеоника. Уштеда енергије због варијабилне фреквенције настаје услед прилагођавања условима система која се врше аутоматски, а не ручно. Јарак такође има и две мешалице којима се стално управља у аноксичној зони.

ППОВ има два пречишћивача, један који ради у континуитету и додатни пречишћивач који се користи у случајевима високог тока.

Током ревизије, концентрације дозвољеног кисеоника су мерене у оксидационом јарку како би се утврдила ефикасност аерације.

Од 2008., просечна концентрација фекалних бактерија у води износила је 8,3 на 100 ml, са седмодневним просеком од 214,3/100 ml. Дозвољена концентрација Ешерихије коли била је 1.372/100 ml (30-дневни просек) и 2.744/100 ml (7-дневни просек). Технологије које су коришћене су показале да концентрација фекалних бактерија у отпадним водама је нижа од просечно дозвољеног. Произвођач препоручује да се сијалице замене после 13.500 сати рада или сваких 1,5 година. Тренутна оперативна праксе је да се замена сијалица врши у оквиру планираног годишњег одржавања, без обзира на број радних сати. Повећање интервала замене сијалица може се довести до уштеда трошкова материјала и отпада.

Муљ се у ППОВ згушњава у резервоару за сирови муљ и пребацује се у резервоар за згуснути муљ који служи за његово чување. Због постојеће конфигурације цевовода муљ се транспортује из складишта згуснутог муља у складиште где се врши исушивање. Иако ово омогућава додатно складиштење, а самим тим и потенцијално ређе одвожење на депонију, захтева се компресор од 12 kW, који је повезан са резервним складиштем.

На основу оперативних информација постројења и података прикупљених током ревизије, тим за процену развио је препоруку за енергетске уштеде за ППОВ.

Анализом података је утврђено да су инфилтрација и прилив проблематични током сезоне 2 (април-јун). Да би се ублажили ови проблеми, корисно је да се идентификују критична подручја у систему сакупљања, изазвана цурењем и пукотинама. Ове информације помажу да се изврши поправка или замена система цевовода. Такође, предлаже се коришћење опреме мање снаге, као што су на пр. пумпе, у мери у којој је то могуће. На основу података за дневни проток, пумпе на пример могу да раде ноћу и средином дана у периоду малог протока у сезони 1 (октобар-март) и ноћу у периоду ниског протока у сезони 3 (јул-септембар).

7.Централно постројење за пречишћавање отпадних вода града Крагујевца



Слика 10. Централно постројење за пречишћавање отпадних вода града Крагујевца

Постројење које је анализирано у оквиру овог мастер рада а са аспекта подизања енергетске ефикасности је постројење за пречишћавање отпадних вода града Крагујевца. Постројење је удаљено од града Крагујевца десетак километра. Лоцирано је на територији села Цветојевца на левој обали корита реке Лепенице. Постројење је пројектовано за 250.000 ES¹ (еквивалентних становника), а инсталирани капацитет је 125.000 ES. Постројење је са радом почело 1991. године. Тренутни проток износи 400 l/s – 500 l/s, а инсталисани капацитет постројења је 1.504 l/s.[9]

7.1. Преглед производног процеса

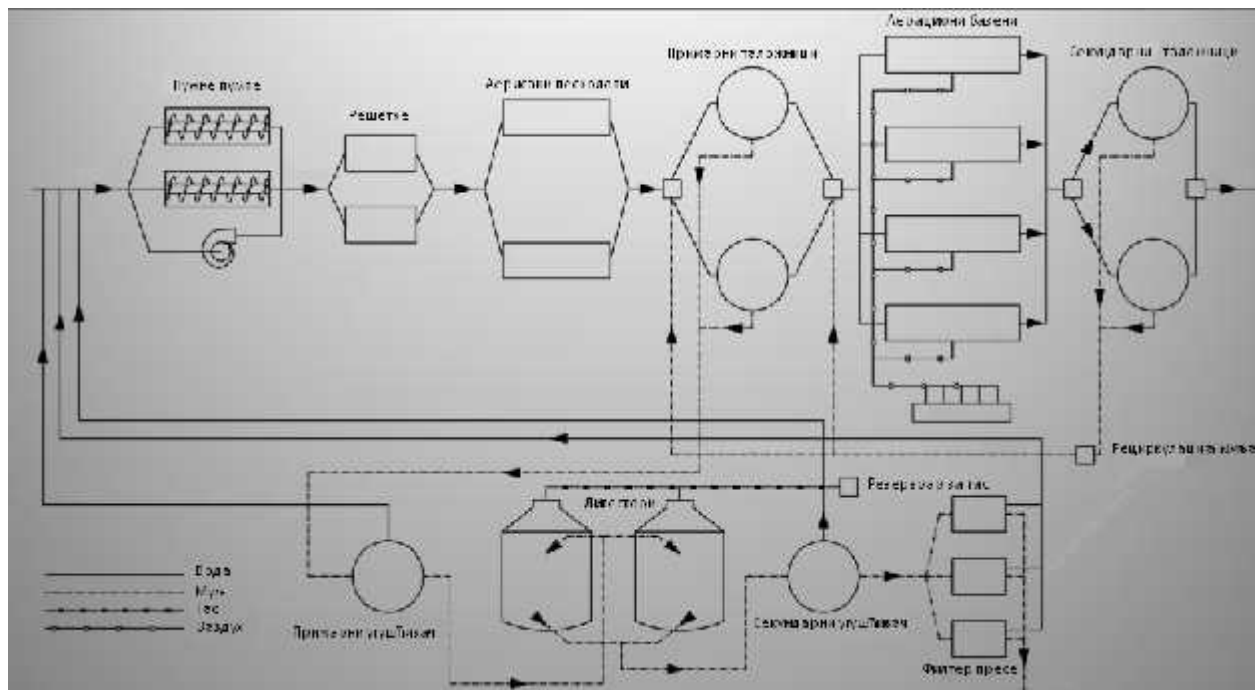
Постројење за пречишћавање отпадних вода града Крагујевца састоји се од прелиминарних процеса, примарног и секундарног третмана, као и третмана муља.

Прелиминарни процеси укључују пумпање воде и уклањање грубог и инертног материјала (грубе и аутоматске решетке, песколови). Примарни и секундарни третман састоје се из примарног таложења, биолошке аерације (процес са активним муљем) и секундарног таложења.

¹ Еквивалентни становик (ES) означава јединицу оптерећења која се примењује за изражавање капацитета уређаја за пречишћавање отпадних вода или оптерећења различитих облика водених маса, а добија се дељењем укупног ВРК₅ (биохемијска потрошња кисеоника) са вредношћу која отпада на једног становника.

Третман муља обухвата примарно угушћивање, анаеробну дигестију, секундарно угушћивање и обезводњавање муља на тракастим филтер пресама.

На слици 11. приказана је шема постројења за пречишћавање отпадних вода, која ће бити детаљно обрађена у даљем тексту.



Слика 11. Шема производног процеса CPPOV² Kragujevac

7.2. Технички опис процеса са прорачунима

На самом почетку процеса, тј. на месту где сабирни колектор отпадних вода улази у постројење, налази се црпна станица сирове воде која има за циљ да све количине отпадних вода подигну на вишу коту. Ова разлика висина обезбеђује гравитационо протичање воде кроз комплетан процес такозване „линије воде“. Обзиром на састав воде и примесе које се у њој налазе, као и чињеница да је висина на коју се вода подиже мала, користе се пумпе. Овај тип пумпи не захтева дубок усисни шахт, и што је најважније, на самим пумпама не долази до зачепљења.

Вода се доводи на постројење за пречишћавање отпадне воде преко заједничког колектора, пребацује се у црпни базен, а затим пумпама доводи до грубе решетке. Потребан ниво воде за рад уређаја рачунајући на хидрауличне губитке у постројењу,

² Централно постројење за пречишћавање отпадних вода

обезбеђује се подизањем воде помоћу пужних пумпи. Пумпе се састоје од ротационих хеликоидних преносника помоћу којих се отпадна вода подиже на дефинисан ниво.

7.2.1. Начини рада пумпне станице

Ниво воде у црпилишту сирове воде зависи од дотока из спољне канализационе мреже и од рада пужних пумпи. Ниво у црпилишту се мери дискретно и кретање нивоа се показује на локалном разводу и у централној команди.

На основу података о кретању нивоа, пумпа се укључује и искључује ручно са локалног развода и даљински из централне команде. Минимални ниво који се сигналише у централну команду је 150 mm изнад дна црпилишта. Аутоматске решетке и тракасти транспортер са њима укључује се или у одређеним временским интервалим на сигнал од подешеног временског релеја или на сигнал прекомерног пораста нивоа у каналу испред решетке. Компресори за аерацију песколова укључују се и искључују ручно, било са локалног развода, било из централне команде према технолошким потребама ваздуха за аерацију.

7.2.2. Грубе и аутоматске решетке

Вода се доводи у постројење преко заједничког колектора, пребацује се у црпни базен, а затим пумпама доводи на грубе решетке. Подизањем воде помоћу пужних пумпи обезбеђује се потребан ниво воде за рад уређаја. Грубе решетке спречавају да дође до оштећења и запушавања пужних пумпи, а fine решетке служе за уклањање суспендованих материја.

За уклањање грубог и инертног материјала користе се fine и грубе решетке, при чему fine решетке уклањају суспендоване материје, а грубе решетке имају више заштитну улогу, јер спречавају да дође до оштећења и запушавања пужних пумпи.

Потребна ширина решетке одређена је следећом једначином :

$$b = \frac{Q * (s + e)}{W * V * e * f}$$

где су величине које фигуришу у претходној једначини :

b – ширина решетке [m],

Q – проток [m³/s],

e – размак између шипки [mm],

W – дубина воде[m],

V – брзина воде [m/s].

Ако заменимо вредности које важе за СРРОВ Крагујевац,

$$b = \frac{1.71 * (10 + 25)}{1.5 * 1 * 25 * 0.9} = 1.8 \text{ m}$$

Ширина решетке износи 1,8 m, односно, усвојена ширина је 2 m.

7.2.3. Аерисани песколов

Функција аерисаног песколова у процесу пречишћавања отпадне воде је смањење оптерећења примарних таложника, обзиром да је потребно снижити оптерећеност и избећи абразију механичке опреме у њима. Такође се смањује таложење материјала у цевоводима и каналима. Смањење оптерећења обавља се уклањањем инертног материјала, чије честице имају већу брзину таложења од честица органских материја.



Слика 12. Аерисани песколов

Изабрани аерациони песколов се састоји из аерисаног таложника са равним дном. Примена ваздуха омогућује селективно уклањање инертних материја. Предности аерационог песколова су додатно уклањање суспендованих материја, смањење пада притиска и уклањање инертних материја дефинисаног пречника. Аерациони песколов спречава формирање септичких услова. Теже честице падају на дно, а затим се усисавају као смеша песка и воде помоћу мобилне усисне пумпе. Мешавина песка и воде тангенцијално улази у резервоар за прање песка где се врши његово испирање и таложење.

Преко прелива вода отиче са испраним органским материјама преко испуне коморе и цеви назад у песколов.

Количина и састав издвојеног материјала зависе од :

- састава отпадне воде,
- количине процедурних вода,
- расположиве насељене површине,

- климатских фактора,
- количине отпада,
- карактеристике земљишта,
- индустријских отпадака.

Постројење поседује два песколова са равним дном. Смеша воде и песка усисава се помоћу две муљне пумпе. Оне имају покретну усисну цев и постављене су на мосту који се креће дуж таложника. На мосту је постављен и силос у коме се врши сепарација песка и воде, тако што песак остаје у силосу, а течност преко корита отиче назад у песколов.

Пражњење силоса врши се тако што се корито окрене на супротну страну, силос отвори и садржај истресе у за то припремљен контејнер. Предвиђен је један систем за чишћење оба песколова. На мосту се налази и уређај за скидање пливајућих материја. Приликом уређења моста пливајуће материје се одводе у испусни левак, а затим у примарни угушћивач.

Мост над песколовом аутоматски изводи кретање с једног на други крај базена песколова, при томе усисавајући талог са дна посебним муљним пумпама и пресипајући га у силос за песак. Дуж песколова постављене су аерационе цеви спојене на компресорску инсталацију у згради аутоматских решетки.

Треба напоменути да се, по досадашњем искуству, једном годишње јавља проблем у раду моста песколова. Наиме, долази до искакања моста из шина, а узрок за ову појаву се може тражити у великој дужини вођица моста.

Управљање се врши искључиво ручно са ормана на мосту песколова. Начин рада се може бирати „ручно“ или „аутоматски“. У „аутоматском“ раду мост периодично врши пун циклус кретања. У изабраном „ручном“ погону мост се може кретати по избору. Могуће је изабрати да једна, или обе муљне пумпе буду у раду.

7.2.4. Примарно таложeње

Таложници са згртачем се пројектују по правилу као хоризонтални, проточни правоугаони или кружни базени. Због ефикасности и једноставнијег одржавања у овом постројењу изграђен је кружни тип таложника.

Примарни таложници (слика 13.) се користе за уклањање суспендованих материја, фосфата и осталих растворених материја, као и одређене количине рециркулисаног активног муља. Суспензија која се пречишћава долази у таложник преко улазне зоне, а затим се равномерно распоређује по пресеку базена, при чему се кинетичка енергија поништава турбуленцијом и трењем у улазном систему.



Слика13 . Примарни таложници система

Лебдеће материје из воде које дотичу дно, таложе се на дну базена и континуалним кружним кретањем згртача потискују ка средини у левак за муљ. У висини нивоа воде постављен је скидач пене и пливајућих материја. Све пливајуће материје потискују се према џепу на ивици базена или према посуди која се налази испод моста згртача. Згртач за муљ, обешен је на носеће цеви моста, који га при свом кружном кретању вуче за собом, ослања се на дно таложнице преко котрљајућих точкова (обложених гумом).



Слика14 .Стазе за вођење моста секундарног таложника

Проблеми који се јављају код таложника су корозија, а као други наводи се површина за вођење моста. Због сталне употребе, временом, ове површине су уништене. На слици 14. приказано је тренутно стање стазе за вођење моста секундарног таложника. Од пуштања у рад, само је у једном наврату покушана обнова ових стаза, међутим, тај посао није одрађен довољно квалитетно.

7.2.5. Биолошка аерација

Биолошка аерација отпадних вода може да се врши у биоаерационим базеним, аерисаним лагунама или биофилтрима. У овом постројењу изабран је процес пречишћавања у биоаерационим базенима (процес са активним муљем).

Активни муљ је суспензија микроорганизама, активних и изумрлих, који се налазе у отпадној води са суспендованим колоидним и раствореним органским и неорганским материјама. Добијање ефекта задовољавајућег квалитета постиже се аеробним биолошким процесима у којим се одигравају метаболичке реакције микроорганизама. Када отпадна вода доспе у биоаерациони базен формира се микробиолошки флок који се храни органским материјама из отпадне воде. Поред микробиолошког флока у биоаерационим базенима се налазе и инертне материје.

За сваки систем са активним муљем присуство пене је нормално. Код система који добро ради 10-25 % површине је покривено пеном дебљине 5-8 см. Под одређеним оперативним условима повећава се количина пене која може бити бела, браон или црна. Ова пена утиче на нормалан рад система. Пена је непријатног мириса и у себи може да садржи патогене микроорганизме.

Микроорганизми се углавном састоје од 70-90% органске и 10-30% неорганске материје. Њихово формирање и количина зависе од састава отпадне воде.

Флокуле активног муља састоје се из великог броја у више слојева распоређених бактерија које могу бити обавијене слојем слузи. Због своје велике површине и негативног наелектрисања, муљ има знатну апсорпциону моћ и садржи пуно везане воде (80%).

Оптимална температура за већину микроорганизама је 20-30°C. Ниске температуре смањују активност микроорганизама, па према томе и ефекат пречишћавања. Зими долази до веће производње муља и ефлуента³ који садржи већу количину суспендованих материја.

Иза аерационих базена налазе се секундарни таложници у којима се таложењем одваја микробиолошки флок, који се затим рециркулише у биоаерационе базене да би популација микроорганизама у њима била константна.

³ Ефлуент - излазна течност приликом пречишћавања

Табела 5 . Максимална дозвољена концентрација тешких метала и отровних материја [10]

Загађивач	Максимална дозвољена концентрација (µg/l)
Алуминијум	15 - 26
Амонијак	480
Арсен	0.1
Кадмијум	10 - 100
Калцијум	2500
Хром (6+)	1 - 10
Хром (3+)	50
Бакар	1
Цијаниди	0.1 – 5
Гвожђе	1000
Олово	0.1
Манган	10
Жива	0.1 - 5
Никл	1 – 2.5
Сребро	5
Цинк	0.08 – 10
Феноли	200

Биоаерациони базени представљају срж система са активним муљем. За одвијање реакција у биоаерационим базенима неопходно је присуство ваздуха којим се врши разлагање супстрата и добија потребна енергија за синтезу и дисање ћелија.

Аерација се врши ваздухом, кроз дифузоре. Потребна количина ваздуха зависи од органског оптерећења. Након увођења ваздуха под притиском пренос кисеоника врши се формирањем финих мехурића и њиховим проласком кроз течност. На ефикасност процеса утиче величина мехура, брзина протока ваздуха, распоред дифузора и брзина воде. Аерациони базени су пројектовани при максималном часовном протоку индустрије и максималном дневном протоку из сектора становништва и при тим условима пројектовани проток је $350 \text{ Nm}^3/\text{min}$.

На процес биолошке аерације изузетно штетно утичу концентрације тешких метала и отровне материје, које су приказане у табели 5.

7.2.6. Секундарно таложење

У секундарним таложницама таложи се активни муљ из биоаерационих базена.

Основна улога ових таложника је:

- ✓ обезбеђење концентрације суспендованих материја на излазу у складу са захтевом,
- ✓ одвајање пречишћене отпадне воде од активног муља,
- ✓ скупљање и угушћивање исталоженог муља,

- ✓ истовремено ускладиштење активног муља при повећаном оптерећењу у аерационим базенима.

Смеша микробиолошког флока и мале количине суспендованих материја и неразградљивих биолошких материја настала таложењем са једним делом (60-80%) рециркулише у аерационе базене. Остатак муља (20 – 40 %) се шаље у примарни угушћивач, а затим на анаеробну дигестију. Овакви секундарни таложници морају имати константно одвођење муља да у њима не би дошло до анаеробних услова. Секундарни таложници су кружног облика, исто као и примарни.

7.2.7. Рециклирање муља

У току рада постројења у секундарним таложницима се формира муљ који се враћа у аерационе базене. Сав муљ из примарног таложника одлази на третман муља, односно у примарни угушћивач.

Активни муљ је назив за биолошки активну биомасу аеробне микрофлоре, суспендоване у отпадној води у облику флокула, при чему се у флокулама сем живих, активних, микроорганизама налазе и мртве ћелије као и органска (биоразградљива и бионеразградљива) и неорганска материја из отпадне воде која се пречишћава. Најважнији и најзаступљенији микроорганизми активног муља су бактерије.

Процес пречишћавања активним муљем се контролише количином муља изнетог из система (која зависи од концентрације муља у реактору) и средњим временом задржавања микрофлоре у систему. Количина муља која се износи из система мора бити мања од нето прираштаја микрофлоре, како не би дошло до „испирања“ микрофлоре, тј. до смањивања концентрације активног муља у реактору.

Активни муљ у добром стању има карактеристичан мирис који није непријатан, обично је мрке боје. Лако се стабилизује, сам или у смеси са примарним муљем.

Улога рециркулисаног муља који је претходно исталожен у секундарном таложнику је одржавање довољне концентрације активног муља у аерационим базенима, тако да квалитет процеса остане задовољавајући.

Количина исталоженог активног муља у секундарним таложницима варира и повремено може да испуни цео таложник, уколико су рецикулационе муљне пумпе неодговарајућег капацитета. Рециркулише се до 100% активног муља и то 20-30% примарни таложник и 80-60% у аерационе базене.

Смеша микробиолошког флока, мале количине суспендованих материја и неразградљивих биолошких материја настала таложењем у финалном таложнику се једним делом (100-60%) рециркулише у аерационе базене. Остатак муља (0-40%) се шаље у примарни таложник, а затим у примарни угушћивач и анаеробну дигестију. Овакви финални таложници морају имати константно одвођење муља да у њима не би дошло до стварања анаеробних услова.

У висини нивоа воде постављена је летва чија је функција да уклања пену и пливајуће материје. Све пливајуће материје потискују се према каналу на ивици базена и одатле одводе у примарни угушћивач. Згртач за муљ, окачен је на носеће цеви моста, који га при свом кружном кретању вуче за собом, и ослања се на дно таложнице преко котрљајућих точкова.

7.2.8. Вишак муља

Вишак муља се избацује да би се омогућило формирање адекватног односа F/M^4 . Вишак муља, заједно са муљем из примарних таложника одлази на третман муља. Количина рециркулисаног муља и вишка муља зависе од органског оптерећења, садржаја суве материје у аерационом базену, као и садржаја суве материје у рециркулисаном муљу.

У раду секундарних таложника најчешће се јављају следећи проблеми:

- Испливање честица на површину је најчешће због распадања муља. Да не би дошло до ове појаве, муљ треба потпуно уклонити или вршити чешће уклањање муља.
- Појава „кратког тока“ јавља се услед великог хидрауличког оптерећења, неподесног нивоа прелива, квара опреме, велике акумулације инертних честица и материја, као и због јаког ветра. Да би се спречила појава „кратког тока“ треба смањити проток воде, подесити прелив, поправити покварену опрему, поставити штитнике против ветра, уклонити вишак акумулираних честица. Да не би дошло до недозвољеног пораста обртног момента на скреперу (згртачу) због великог оптерећења треба повремено испразнити таложнике, уклонити препреке које спречавају кретање скрепера по дну, повећати проток рециркулисаног муља.

7.2.9. Примарни угушћивач

Угушћивање представља први процес у линији муља. У угушћивач стиже муљ који се састоји од примарног сировог муља и активног муља. Изабран је гравитациони угушћивач из следећих разлога: омогућава издвајање вишка воде и формирања минималне

⁴ F/M - однос супстрата и микроорганизама

зепремине муља, због изједначавања и складиштења муља да би се омогућила наредна операција (анаеробна дигестија и филтрирање на тракастим филтер пресама). На слици 15. приказан је изглед примарног угушћивача.



Слика 15 . Примарни угушћивач

7.2.10. Анаеробна дигестија

Развојем технологије прераде отпадних вода последњих година усавршаване су и конструкције дигестора. На то су утицали развијеност технике и технологије, енергетике, енергетске мреже и климатски услови појединих земаља у којима су дигестори највише у примени.

За време дигестије испарљиве материје се смањују и колоидна структура муља се уништава. Разграђивање сложених органских материја постиже се са две врсте бактерија:

- факултативне анаеробне бактерије које преводе угљене хидрате, протеине и масти у органске киселине и алкохоле,
- метанске бактерије које преводе органске киселине и алкохоле у метан (CH_4), угљендиоксид (CO_2) и амонијак (NH_3).



Слика 16. Дигестори ССРОВ Крагујевац

Анаеробна дигестија муља примењује се из следећих разлога:

- разградње органских материја у муљу у циљу његове стабилизације,
- смањење масе и запремине муља,
- добијање корисних нус-производа,
- уништавање и контрола патогених организама.

Постројење за дигестију муља у ССРОВ Крагујевац је двостепено. Количина муља која долази у први дигестор је 36.682,8 kg/d. Запремина дигестора је 8.000 m³ и то два дигестора по 4.000 m³. У посебним случајевима може да ради само један дигестор. У осталим случајевима дигестори (слика 16.) раде као реактори везани редно.

Трули муљ у фази дигестије се због специфичне тежине сакупља у доњем делу дигестора и ако би се оставио да одлежи извесно време, изгубио би воду и постао кашасти. Да се ово не би десило, предвиђена је рецикулација муља у прилично дугим интервалима.

Узимање муља је могуће из горње или средње зоне дигестора. Поновно увођење муља врши се изнад нивоа муља. Рециклирање муља у дигестору се врши помоћу муљних пумпи. На поклопцу дигестора који је фиксиран, налазе се уређаји за испуштање гаса, сигурносни уређај, инспекционо окно и цев за довод гаса.

Уређај за избацивање гаса налази се на цевоводу за гас и снабдевен је уређајем који омогућава да крупније честице крену са гасом. На њему се налази и уклањач пене.

Сигурносни уређај је од армираног стакла и снабдевен је одговарајућом мрежицом. При његовом коришћењу не долази до губирка гаса. Сигурносни уређај обезбеђује смањење притиска у дигестору, уколико нагло дође до повећања количине гаса. Он је конструисан на такав начин да се под условима повећаног притиска течност која је у њему не избацује већ само помера. Чим се успоставе нормални услови, течност се враћа назад.

Гас који се формира у дигестору одводи се у резервоар за гас. Смеша свежег муља и рециркулисаног муља која се доводи у размењивач топлоте иде цевоводом. Цевоводи за довођење и усисавање муља су међусобно повезани.

7.2.11. Загревање дигестора

Сврха загревања дигестора је одржавање жељене температуре у унутрашњости, која убрзава процес дигестије (34-37°C). Довођењем топлоте у дигестор врши се загревање сировог муља.

Потребна топлота за загревање дигестора, као и губитак топлоте кроз дигестор зависе од спољне температуре ваздуха. Прорачун је извршен за зимски и летњи период, односно за просечну температуру у двонедељном најхладнијем, односно најтоплијем периоду у години.

Губитак топлоте из дигестора зависи од облика и типа дигестора. Најмање губитака има цилиндрични облик, са што мањом разликом између пречника и висине. Губитак топлоте одређује се следећом једначином :

$$Q = U \cdot A(T_2 - T_1)$$

где је:

Q - губитак топлоте из дигестора [W],

U - коефицијент пролаза топлоте [W/m²K],

A - површина дигестора, врх, дно и омотач [m²],

T₂- температура у унутрашњости дигестора [K],

T₁- температура изван дигестора [K].

Коефицијент пролаза топлоте зависи од материјала и дебљине зидова дигестора, њихове релативне проводљивости, утицаја кретања муља у унутрашњости дигестора и утицаја присуства ваздуха, односно земље, изван дигестора. Рачуна се према једначини:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\delta}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

Величине које фигуришу у овој једначини су: h₁, h₂ (W/m²K) – коефицијенти прелаза топлоте, k (W/mK) – топлотна проводљивост материјала зида и δ (m) дебљина зида. Заменом бројних вредности коефицијент пролаза топлоте је U = 1.6 W/m²K. Површина дигестора је:

$$A = 1752,12 \text{ m}^2 \text{ (по дигестору).}$$

Као средња температура муља у дигестору за зимске услове усвојена је температура од 35°C, а -10°C као најнижа просечна температура у току две недеље најхладнијег периода у години, тако да је:

$$T_2 - T_1 = 35^\circ - (-10^\circ) = 45^\circ\text{C} = 318,15\text{K}$$

Ако се вратимо у почетну једначину, губитак топлоте у дигестору, заменом вредности имамо да је:

$$Q = 1.6 \frac{W}{m^2} \cdot 1752.12 m^2 \cdot 318.15 K = 891\,899.16\,W$$

За летње услове усвојена је у најтоплијем периоду од две недеље просечна температура околине од 25°C.

$$T_2 - T_1 = 35^\circ - 25^\circ = 10^\circ C = 283,15K$$

Губитак топлоте у дигестору за летње услове је :

$$Q = 1.6 \frac{W}{m^2} \cdot 1752.12 m^2 \cdot 283.15 K = 793\,780.44\,W$$

7.2.12. Загревање муља

Поред губитака топлоте из дигестора, потребно је одредити количину топлоте за загревање муља. Потребна количина топлоте може се одредити рачунски преко следеће једначине :

$$Q_t = \frac{ES}{24} \cdot 100 \cdot S \cdot \frac{T}{P}$$

где је:

Q_t - количина топлоте за загревање муља [W],

ES - број еквивалентних становника,

S - сува материја која се додаје у дигестор по ES,

P - проценат суве материје у сировом муљу,

T- температура сировог муља [K].

Сува материја која се додаје у дигестор по ES износи $S = 0.073 \frac{kg}{ES}$.

За зимске услове усваја се температура муља од 5°C, односно 278,15K, даље следи да је:

$$H = \frac{250.000 ES}{24} \cdot 100 \cdot \frac{0,073 \frac{kg}{ES}}{5.5} \cdot 278,15 K = 3\,845\,646,8$$

За летње услове, усваја се температура муља од 25°C, односно 298.15 K, следи да је:

$$H = \frac{250.000 ES}{24} \cdot 100 \cdot \frac{0,073 \frac{kg}{ES}}{5.5} \cdot 298,15 K = 4\,122\,162,8$$

7.2.13. Биогаз

Биогаз је мешавина метана и угљен – диоксида, која се добија приликом разградње органских материја под анаеробним условима. То је квалитетно гориво, које може да замени фосилна горива, а такође је и CO₂ неутрално. У време када резерве фосилних горива опадају, енергетски трошкови расту, а животну средину угрожава неправилно одлагање смећа, проналажење решења за проблем биолошког отпада и третман отпадних органских материја, постаје питање од највеће важности.

Када се прича о биогазу, обично се мисли на гас са великом количином метана у себи, који настаје ферментацијом органских супстанци, као што су стајњак, муљ из отпадних вода, градски чврсти отпад или било која друга биоразградива материја, при анаеробним условима.

Овај процес постаје све популарнији за третирање органског отпада, јер омогућава прикладан начин претварања отпада у електричну енергију, чиме се смањује и количина отпада, као и број патогених супстанци, који се налазе у отпаду. Такође, употреба биогаза се охрабрује, јер се на тај начин добија енергија, а не повећава се количина угљен-диоксида у атмосфери. Такође, метан сагорева знатно чистије у односу на угаљ.

Обрада биоразградивих супстанци одиграва се у анаеробном дигестору, који мора да буде довољно јак да издржи повећани притисак, као и да обезбеди анаеробне услове за бактерије у унутрашњости.

У новије време, све је већа употреба биогаза добијеног из отпадних вода. Чак и када се не користи за добијање топлотне и/или електричне енергије, гас се мора прописно одложити и пречистити, јер садржи опасне запаљиве материје, од којих многе стварају смог.

Биогаз се скупља у дигесторима и одводи у резервоар за гас. Продукција гаса варира у зависности од садржаја испарљивих материја садржаја муља и биолошке активности у дигестору.

Укупна количина гаса у централном постројењу за пречишћавање отпадних вода града Крагујевца је:

$$28 \frac{l}{ESd} \cdot 250\,000 = 7\,000\,000 \frac{l}{d} = 7\,000 \frac{m^3}{d}$$

Садржај метана (CH₄) је 65% :

$$7\,000\,000 \frac{l}{d} \cdot 0.65 = 4\,550\,000 \frac{l}{d} = 4\,550 \frac{m^3}{d}$$

Енергетска вредност гаса по часу је 22 kJ/l.

$$4\,550\,000 \frac{l}{d} \cdot 22 \frac{kJ}{l} = 100\,100\,000 \frac{kJ}{d} = 4\,170\,833 \frac{kJ}{h}$$

Енергетска вредност гаса изучаваног постројења по часу је $4\,170\,833 \frac{kJ}{h}$, односно 1.160 kW.

7.2.14. Секундарни угушћивач

Секундарни угушћивач се налази иза дигестора. Његова функција је угушћивање дигестираног муља пре транспорта на тракасте филтер пресе. Секундарни угушћивач је у свему исти као и примарни. Секундарни угушћивач је приказан на слици 17.



Слика17. Секундарни угушћивач

7.2.15. Тракасте филтер пресе

Пре коначног одлагања муља потребно је издвојити што већу количину воде. Кондиционирани муљ долази на тракасту филтер пресу и пролази између покретних трака, од којих је доња подупрта, а горња притиснута са одређеним бројем ваљака. Тракаста филтер преса је тако конструисана да се по дужини састоји из три зоне: зоне оцеђивања, зоне притиска, зоне ломљења у којој се муљ ослобађа воде под дејством гравитације, механичким притискањем горњом траком уз доњу, односно цик-цак кретањем и ломљењем слоја муља.

7.2.16. Складиштење биогаза

Продукција биогаза у току времена често није константна, па је тешко да се ускладе капацитети произведеног биогаза и когенеративног постројења. Она варира у зависности од садржаја испарљивих материја у садржају муља и биолошке активности у дигестору и креће се у опсегу 17-28 l/s. Основни састојци гаса су метан и угљендиоксид, а у малој количини (1-5%) су присутни азот, водониксулфид и водоник. Циљ је да когенеративно постројење ради приближно истом снагом и због тога је неопходно да се произведени биогаз привремено складишти. Резервоари за складиштење биогаза морају да буду херметички затворени, отпорни на повишену температуру, притисак, UV-зрачење и временске утицаје. На њима се уграђују и системи за осигурање од натпритиска и потпритиска, да не би дошло до експлозије смеше и гаса. Код дигестора са фиксираним кровом постоји слободан простор између поклопца дигестора и течне фазе. На дигестору са фиксираним кровом може се јавити цурење гаса па је потребно пратити рад сигурносних вентила за гас. Место на коме цури гас је потребно запустити. Цурење гаса је могуће детектовати по мирису. Резервоари се димензионишу тако да имају капацитет довољан за складиштење минимум четвртине дневне производње биогаза, а препорука је да капацитет буде довољан за једнодневну или дводневну количину произведеног биогаза. Биогаз може да се складишти у резервоарима ниског, средњег или високог притиска.[11]



Слика18. Бакља за спаљивање вишка биогаза

Када произведена количина биогаза превазилази капацитет резервоара за складиштење, на пример због поправке когенеративног постројења, вишак мора да се збрине на безопасан начин. То је веома битно због емисије метана у атмосферу. Тада се примењује гасна бакља, којом се метан сагорева и добија се угљендиоксид (метан има 23 пута интензивније дејство на ефекат стаклене баште од угљендиоксида). Пример сигурносне бакље за спаљивање биогаза приказан је на слици 18. Напомиње се, да је коришћење сигурносне бакље са енергетског становишта лоше решење, али када је реч о заштити животне средине понекад неопходно.

7.3. Коришћење биогаза као енергента

Када се прича о биогазу, обично се мисли на гас са великом количином метана у себи, који настаје ферментацијом органских супстанци, у нашем случају је то муљ из отпадних вода. Овај процес постаје све популарнији, јер омогућава прикладан начин претварања отпада у електричну енергију, чиме се смањује и количина отпада, као и број патогених супстанци, који се налазе у отпаду. Такође, употреба биогаза се охрабрује, јер се на тај начин добија енергија, а не повећава се количина угљен-диоксида у атмосфери. Такође, метан сагорева знатно чистије у односу на угаљ.

Биогас пречишћен до нивоа чистоће за гасовод назива се обновљиви природни гас и могуће га је користити у свакој примени у којој се иначе користи земни гас. То укључује дистрибуцију таквог гаса путем гасовода, производњу струје, грејање, загревање воде и употребу у разним технолошким процесима. Компримован, биогас може да се користи и као погонско гориво за возила.

Биогас се састоји од око 70% метана(CH_4), и остатка кога чине угљен-диоксид, угљен-моноксид и азот. Овај релативни однос гасова зависи од обрађиваног материјала и приступа обраде. Биогас има значајну енергетску вредност од око 7 kWh/m^3 (табела 6.) што га чини врло исплативим и универзалним горивом далеко исплативијим од осталих фосилних горива и биомасе.

Табела 6. Енергија која се добија сагоревањем 1 m^3 гаса[12]

Гас	Енергија
Биогас	7 kWh
Природни гас	10 kWh
Пропан	26 kWh
Метан	10 kWh
Водоник	3 kWh

7.3.1. Коришћење биогаза у производњи топлотне енергије

Топлотна моћ биогаза креће се у границама 14 до 25 MJ по стандардном метру кубном (Stm^3). То је гасовито гориво чији енергетски потенцијал може да се искористи на разне начине. Сагоревање у котловима и пећима је један од начина, али се, најчешће, користи као гориво у моторима са унутрашњим сагоревањем (SUS) који погоне генераторе електричне енергије. Топлотна енергија садржана у расхладној течности и продуктима сагоревања такође може и треба да се искористи, па се тада такво постројење назива когенеративно. Мада је израз производња енергије некоректан, јер енергија не

може да се произведе, већ долази до њене конверзије, обично се говори да је то постројење за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије.

Савремени мотори SUS, који су саставни део когенеративног постројења, имају степене корисности и преко 40%, а степен корисности генератора је изнад 90%. Обично је укупан степен корисности оваквих постројења изнад 35%, а на врхунским и изнад 40%. Топлотна енергија је чак и виша од електричне. У зависности од типа и величине постројења од неколико па до 20%.[13]

Један део топлотне енергије когенеративног постројења користи се за грејање садржаја дигестора, па и мешача супстрата. Потребне дигестора за топлотном енергијом зависе од његове топлотне изолације, облика и материјала од којих је дигестор изграђен, спољашњих температура итд.

Код биогас постројења која служе за пречишћавање отпадних вода, потребе за топлотном енергијом су велике, често је потребно да се користи и додатни енергент. Разлог је висок садржај воде у коришћеним супстратима.

Коришћење биогаса за производњу само топлотне енергије технички је најједноставнија. Међутим, дефинисањем feed-in тарифа у већини развијених земаља, овај вид примене је изгубио на значају. Разлог су високе инвестиције за изградњу биогас постројења, а ниски приходи који се остварују продајом топлотне енергије или уштеде које се остварују заменом другог енергента. Цена електричне енергије, према feed-in тарифи, је 12 до 16 ct/kWh, а топлотне 3,5 до 5 ct/kWh. Овај вид употребе може да буде примењив на малим биогас постројењима изграђеним на породичним газдинствима. Друга перспективна врста примене је у индустрији, када се пречишћавањем отпадних вода производи биогас.

Код овог вида примене, биогас се сагорева у котловима или пећима, која иначе користе нпр. природни гас. У случају да се биогас не пречишћава, потребно је да се горионици прилагоде због корозивног дејства H_2S . То се постиже нпр. заменом делова од обојених метала деловима од челичних легура отпорним на корозију. Примењују се две врсте горионика, атмосферски и компресорски. Код атмосферског се околни ваздух усисава из околине употребом вентилатора. Потребни притисак биогаса је око 8 mbar, који се постиже процесом у ферментору. Код компресорских горионика, околни ваздух такође се усисава помоћу вентилатора, а натпритисак биогаса од 15 mbar постиже се коришћењем посебног компресора.

7.3.2. Коришћење биогаса као горива за транспорт

Коришћење биогаса као горива за транспорт, заступљена је од деведесетих година прошлог века у Шведској и Швајцарској, а од 2006. и у Немачкој. Потенцијалне предности које могу да се остваре овим начином коришћења биогаса су знатно смањење емисија и нижи трошкови горива. Насупрот томе, набавна цена возила са гасним моторима је виша или је потребно додатно да се инвестира у преправку постојећег мотора у возилу. Потенцијално су виши и трошкови одржавања.

Да би се биогас користио за транспорт, у моторним возилима, потребно је да биогас има одређени квалитет. Пречишћени биогас мора да има већу топлотну моћ да би се прелазила дужа транспортна растојања (због ограниченог капацитета резервоара), да има задовољавајући и константан квалитет да би се обезбедила сигурна вожња и прописно сагоревање, да се спречи корозија, да не садржи механичке честице које могу да оштете делове мотора. Зато се биогас пречишћава од CO_2 , H_2S , NH_3 , H_2O и механичких честица. Пречишћени биогас често се назива и “биометан“, а садржај метана треба да буде преко 90%.

Биогас може да се користи на исти начин и у истим возилима која су фабрички израђена да користе природни гас. Осим тога, могуће је да се преправе бензински и дизел мотори. Потребно је и да се уграде резервоари за компримовани биогас и системи за његово допремање. Биогас се у резервоарима складишти на притиску 200 до 250 бара. Бензински мотори се користе као мотори са двојним горивом („bi-fuel“), што значи да могу да се погоне на бензин или на биогас. Дизел мотори који користе биогас су „dual fuel“, а дизел гориво користе за иницијално паљење смеше са биогасом, јер немају свећице (принцип исти као и приликом коришћења дизел мотора с иницијалним паљењем у когенерацији). Удео дизел горива који се користи за иницијално паљење је 10 до 30 %. Коришћењем ових мотора, постиже се смањење емисија (сагоревањем биогаса уместо дизел горива), а задржава се трајност и ефикасност као код дизел мотора. [14]

Широм света, више од 50 произвођача производе око 250 модела путничких и теретних возила на природни гас. Ова возила погодна су да користе биогас као гориво. Примењују се највише у градском превозу, где се аутобуси који користе дизел гориво замењују аутобусима на природни гас и користе „биометан“ (пречишћени биогас). Возила на биогас имају знатне предности у погледу заштите животне средине, у поређењу са возилима која користе бензин или дизел гориво. Смањују се емисије CO_2 , NO_x , несагорелих угљоводоника, честица и чађи, чак и у поређењу са најсавременијим Otto и дизел моторима.

7.3.3. Утискивање у мрежу природног гаса

Утискивање у мрежу природног гаса примењује се првенствено да се омогући што веће искоришћење примарне енергије биогаза. То се постиже најчешће његовим искоришћењем не на месту производње (локација биогаз постројења), већ где може највише да се искористи преостала топлотна енергија. За транспорт биогаза користи се мрежа природног гаса. Тиме се повољно утиче на економске показатеље, али је потребно да се биогаз пречисти, што захтева додатне инвестиције.

Пошто је пречишћавање скупо, утискивање биогаза се не исплати за друго коришћење, осим у когенерацији. За коришћење биогаза у когенерацији, циљ је да се у што већој мери искористи преостала топлотна енергија, након производње електричне. Већина биогаз постројења налази се удаљено од стамбених и индустријских зона. Зато постоји проблем искоришћења топлотне енергије. Изградња цевовода за даљинско грејање до удаљених потрошача топлотне енергије није исплатива, због малих капацитета биогаз постројења. Са друге стране, у случају да се биогаз постројење изгради у непосредној близини потрошача топлотне енергије, проблем су високи транспортни трошкови супстрата.

Потенцијално решење за овај проблем представља утискивање биогаза у мрежу природног гаса. То значи да би се биогаз производио на месту настанка сировина, а за когенерацију користио на удаљеној локацији, где постоји могућност већег искоришћења преостале топлотне енергије. Биогаз постројење садржи све потребне елементе, осим когенеративног постројења, а потребно је и да садржи постројење за пречишћавање.

7.3.4. Пречишћавање биогаза произведеног у централном постројењу за пречишћавање отпадних вода

Као нуспроизвод процеса пречишћавања отпадних вода настаје биогаз, који представља значајан алтернативни извор енергије, који се може користити за производњу топлотне енергије, за производњу електричне енергије, као гориво у транспорту, или се пак, може убацивати у постојећу гасоводну мрежу природног гаса. Састав биогаза варира од тренутних својстава отпадних вода које се прерађују и технолошког поступка. Произведни биогаз се састоји од горивих и негоривих компоненти, од којих су најприсутнији метан (CH_4) и угљендиоксид (CO_2), а у извесној мери су заступљени и водена пара (H_2O), азот (N_2), кисеоник (O_2), водоник (H_2), амонијак (NH_3), и водониксулфид (H_2S).

Водониксулфид је веома отровно једињење, чак и при веома ниским концентрацијама у ваздуху и има изразито корозивна својства. Има карактеристичан

мирис на покварена јаја, а његова токсичност се пореди са токсичношћу цијанида. Сагоревањем водониксулфида настају сумпордиоксид (SO_2) и сумпортриоксид (SO_3), који такође представљају веома опасна једињења која нападају систем за дисање људи и животиња, а у додиру са водом доприносе стварању киселих киша, које представљају главни узрок изумирању шума, и изузетно су агресивне за металне конструкције и грађевине. Због тога водониксулфид представља непожељно једињење у саставу биогаза и потребно га је одговарајућим поступцима уклонити.

7.3.4.1. Уклањање водоник-сулфида

Постојећа решења која се користе за уклањање водониксулфида могу се сврстати у две основне категорије:

- биолошка десумпоризација, код које се користе микробиолошки процеси у којима микроорганизми уклањају водониксулфид, тако што га конвертују у сумпор,
- хемијска десумпоризација која у ту сврху користи соли различитих метала.

Најчешћи комерцијални методи за уклањање водоник-сулфида из биогаза су:

Дозирање ваздуха или кисеоника у дигестор - најједноставнији начин десуморизације јесте додавање кисеоника или ваздуха у дигестор или у резервоар за складиштење биогаза. У зависности од температуре, времена реакције и количине додатог ваздуха, односно кисеоника, концентрација водоник-сулфида може се смањити до 95%. Код оваквих решења морају се предузети безбедносне мере да би се избегло предозирање ваздуха, како је биогаз у ваздуху експлозиван у зависности од садржаја метана.

Биолошки филтери - код великих дигестора често се користи комбинована процедура абсорпције у воденим скруберима и биолошке десумпоризације. У овом случају се или сирова отпадна вода или муљ уводе у филтер, у који се такође уводи и биогаз са супротносмерним кретањем. Пре увођења биогаз у овакав филтер додаје му се 4-6% ваздуха. Површина слоја филтера обезбеђује неопходну површину скрбувања, као и за приањање одговарајућих микроорганизма. Овакав систем примењен је у неколико инсталација за третман индустријских отпадних вода и у многобројним пољопривредним дигесторима у Данској.

Дозирање гвожђе-хлорида у дигесторски муљ - Гвожђе-хлорид се може директно убацивати у дигестор или додавати муљу у таложницима. Гвожђе-хлорид реагује са водоник-сулфидом и формира со гвожђе-сулфид. Овај метод је врло

ефикасан при редуковању великих концентрација водоник-сулфида, али је мање ефикасан у одржавању нижег и стабилног нивоа водоник-сулфида код захтева за коришћењем у средствима транспорта. Због тога се овај метод користи углавном као парцијални процес да би се избегла корозија у накнадној опреми за пречишћавање. Инвестициони трошкови овог метода су ниски јер они укључују само резервоар за складиштење гвожђе-хлорид и пумпу за дозирање. Али са друге стране оперативни трошкови су прилично високи због високе цене гвожђе-хлорида.

Дрвени чипс прекривен слојем гвожђеоксида - овакав материјал има већу контактну површину у односу на запремину. Такође, однос површине према тежини је веома добар захваљујући ниској густини дрвета. Отприлике 20g водониксулфида може се везати за 100g чипса гвожђеоксида. Примена овог метода је веома популарна, нарочито у САД.

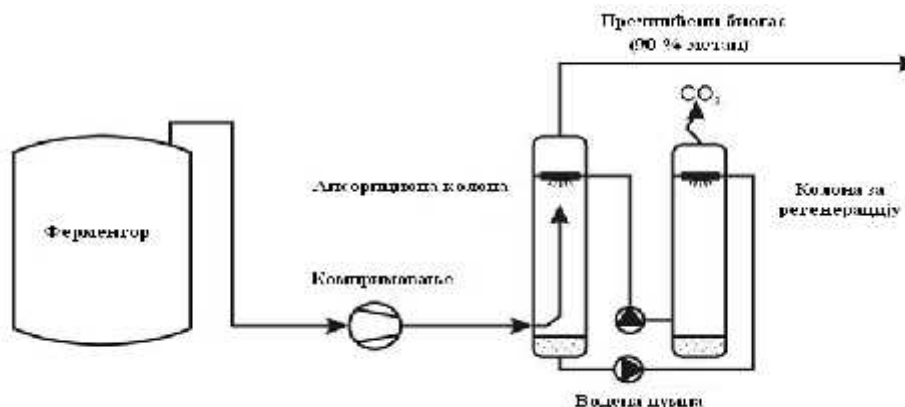
Пелети гвожђеоксида - највећи однос површине према запремини постиже се пелетима који су направљени од црвеног муља, који се добија као отпадни производ процеса производње алуминијума. Међутим, густина ових пелета је много већа него што је густина дрвеног чипса. При концентрацијама водоник-сулфида између 1.000 ppm и 4.000 ppm укупно 50g се може изудвојити на 100g пелета. Већина постројења за пречишћавање отпадних вода у Немачкој и Швајцарској, које не поседују дозирање гвожђе-хлорида, опремљени су инсталацијама са пелетима гвожђе-оксида.

7.3.4.2. Уклањање CO₂

Примењује се код технологија код којих је битно да се повећа топлотна моћ биогаса (енергетски садржај). Угљендиоксид је инертан приликом сагоревања биогаса и нема значајан утицај на околину. Из биогаса се уклања CO₂ чиме се он пречишћава до нивоа када у њему преостаје скоро само метан, односно гаса који чини већину запремине природног гаса. То је нарочито битно уколико се утискује у мрежу природног гаса, јер може тачно да се дефинише количина испоручене енергије. Приликом коришћења биогаса као горива, пречишћавање до квалитета природног гаса је неопходно, због ограничене могућности складиштења у моторним возилима. Затим ће бити приказана два поступка уклањања CO₂, „прањем“ водом у апсорпционим колонама и пречишћавање помоћу мембране.

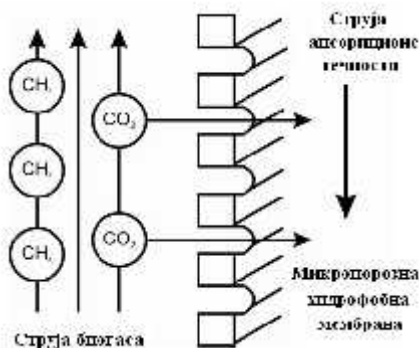
Процес уклањања CO₂ из биогаса, тзв. поступком „прање“ водом, који је чисто физички, шематски је приказан на слици 19. Механизам се заснива на већој растворљивости CO₂ у води од CH₄. Да би се појачао ефекат апсорпције, биогас се након изласка из ферментатора компримује. Биогас у апсорпциону колону улази одоздо, а вода одозго. Вода се распршује и под утицајем гравитације пада надоле. Током падања воде

CO_2 из биогаса се у њој раствара, те добија гас са преко 90 % метана. Делимично се одваја и H_2S , па је у неким случајевима, у зависности од његове концентрације и захтева одлагања употребљене воде, потребно да се претходно спроведе десумпоризација. Вода након изласка из колоне садржи апсорбовани CO_2 , и улази у колону за регенерацију. У њој се одвија регенерација радног медијума (воде), чиме се CO_2 издваја у атмосферу, а регенерисана вода поново користи у апсорпционој колони.



Слика19. Уклањање CO_2 из биогаса „прањем“ водом у апсорпционим колонама

Уклањање CO_2 помоћу мембрана, са гасно-течном апсорпцијом, шематски је приказано на слици 20. Главни елеменат је микропорозна хидрофобна мембрана, која раздваја гасну и течну фазу у систему. Биогас и апсорпциона течност струје у супротним смеровима, а CO_2 из биогаса због процеса дифузије пролази кроз мембрану и апсорбује се у течности. Погонски притисак је атмосферски, па је постројење јефтино. Овим поступком постиже се ефикасно пречишћавање биогаса и достизање удела метана и преко 96 %. Регенерација радног медијума постиже се загревањем, а ослобођени CO_2 је чист и може да се искористи у индустријске сврхе.



Слика 20. Уклањање CO_2 помоћу мембрана, са гасно-течном апсорпцијом

7.3.4.3. Сушење

Спречава потенцијалну кондензацију водене паре којом је биогаз zasiћен, након изласка из ферментора. Тиме је спречено оштећење делова постројења, јер је онемогућено замрзавање воде у инсталацијама и корозија. Најједноставнији начин уклањања водене паре из биогаса је његовим хлађењем или регулацијом притиска. Сушење се најчешће обезбеђује довољно дугачком трасом гасовода, да има довољно времена да се биогаз охлади. Цев улази у земљу која је лети довољно хладна да осигура кондензацију, а зими је температура изнад нуле, чиме се спречава замрзавање. Кондензација се одвија у најнижој тачки, у којој се поставља и одвајач кондензата. Одвајач кондензата мора повремено да се празни, па треба да му је омогућен лак приступ. Са кондензатом се одвајају и још неке непожељне супстанце, аеросоли и растворени гасови. Код неких постројења сушење се одвија применом електричног хладњака. На температури испод 10 °С, постиже се значајнија ефикасност одвајања влаге, али је недостатак потрошња електричне енергије. После хлађења биогаз се поново загрева, да се смањи релативна влажност ваздуха и спречи кондензација у даљој траси гасовода.

7.4. Подизање енергетске ефикасности у СРРОВ Крагујевац

Појам „енергетска ефикасност“ се најчешће сусреће у два могућа значења, од којих се једно односи на уређаје, а друго на мере и понашања. Под енергетски ефикасним уређајем сматрамо онај који има велики степен корисног дејства, тј. мале губитке приликом трансформације једног вида енергије у други. На пример, „обична“ сијалица велики део електричне енергије претвара у топлотну енергију, а само мали део у корисну светлосну, и у том смислу она (сијалица) представља енергетски неефикасан уређај. Када је реч о мерама, под енергетском ефикасношћу подразумевамо мере које се примењују у циљу смањења потрошње енергије.

Циљ је свести потрошњу енергије на минимум, а задржати или повећати ниво производње. Битно је направити разлику између енергетске ефикасности и штедње енергије. Наиме, штедња енергије увек подразумева одређена одрицања, док ефикасна употреба енергије води ка повећању продуктивности, уз смањење утрошене енергије. У технолошким процесима, појам енергетске ефикасности се у данашње време често веже за енергетски ефикасне уређаје тј. уређаје који имају мале губитке приликом трансформације једног вида енергије у други. Но, свака технологија и техничка опрема, без обзира колико ефикасна била, губи то своје својство уколико не постоје свесни људи који ће на одговоран начин управљати технологијом. Стање енергетске ефикасности огледа се у развијеној свести оних који је имплементирају. Такође, у свакој области енергетског управљања морају постојати одређени стандардизовани модели енергетске ефикасности, које је могуће пратити на одређени, релативно једноставан начин.

7.4.1. Минимизација рада котла

Основни принцип очувања енергије је искључивање уређаја када његов рад није потребан. Овај принцип треба применити како на котао тако и његову помоћну опрему. Непотребан рад котла и помоћне опреме доводи до следећих непотребних губитака:

- Губици код постројења и система за дистрибуцију. Док систем ради постоје и одговарајући губици (кондукцијом и цурењем) .
- Непотребно снабдевање енергијом помоћне опреме котла. У случају да смо свели рад котла на минимум треба да смо сигурни да уређаји везани за котао не раде. Пример: пумпа за дистрибуцију топле воде.
- Непотребан рад уређаја-корисника који се посебно не контролише. На радијаторима не постоји термостатски вентил, па врела вода пролази кроз њих када за то нема потребе.

При подешавању рада котла, најважнији параметар је однос ваздух-гориво. Овај однос има највећи утицај на ефикасност котла. Неодговарајући подешени однос ваздух-гориво такође доводи до озбиљних еколошких проблема. Идеалан котао би захтевао тачно толико ваздуха колико је потребно за сагоревање, вишак кисеоника у том случају не би постојао у димним гасовима. Код реалних котлова, потребан је вишак ваздуха који треба да омогући потпуно сагоревање горива. Минимум вишка ваздуха зависи од врсте горива и типа горионика. Модерни, високо ефикасни горионици, захтевају минималну количину ваздуха. Подешавање одговарајућег односа ваздух-гориво, може у екстремним случајевима, довести до уштеде од 10%.

Котао који користи CPPOV је произведен 1990. године. Котао се снабдева биогасом из постројења, чије су количине довољне за потребе одржавања процеса и потребе загревања просторија. У случају да дође до ревитализације генераторског постројења, тј. да гасни мотори раде, рад котла није потребан. Користио би се у случају да дође до застоја у раду гасних мотора. Сматра се да би потрошња гасног мотора била знатно мања од количине биогаса који се сагорева у котлу, а такође CPPOV би уместо досадашњих 260-280 kWh електричне енергије, могао узимати из мреже само неких 60-80 kWh, што представља велику разлику у kWh и смањује високе рачуне утрошене електричне енергије.

У том случају функција котла, који је замењен 2009. године, због дотрајалости старог, била би непотребна, тј. користио би се само као резерва, у случају неких кварова, ремонта или у паузама рада гасног мотора.

7.4.2. Побољшање енергетске ефикасности у пумпном постројењу коришћењем фреквентног регулатора

У постројењима за третман отпадних вода утрошена електрична енергија пумпних система у рачунима за утрошену електричну енергију заузима 25 % до 50% укупне утрошене електричне енергије. Постоји могућност да се утрошак електричне енергије за потребе рада пумпног система смањи путем одговарајућег пројектовања и избора пумпног система и контроле. Рад пумпе са променљивим протоком или лошим избором пумпе (предимензионисање) уобичајно захтева коришћење вентила за пригушење, бајпаса и/или мотора са променљивом брзином да би се добио жељени проток. Вентил за пригушење је извор вибрације и буке, на њему настају губици енергије, а прате га и проблеми везани за одржавање као што су запушавање материјала, кавитација, цурење, и оштећења услед корозије. Најефикаснији начин манипулације протоком је подешавање брзине пумпе. [15]

Поред уштеде у електричној енергији при регулацији брзине фреквентним регулатором остварују се и уштеде у одржавању, како електро тако и машинском одржавању пумпног система. На овај начин, уштеде регулацијом брзине могу се сврстати на:

- уштеде одржавања,
- уштеде електричне енергије.

Са електротехничке стране добре особине регулацијом брзине фреквентним регулатором су „мекан“ старт (полазна струја се може одржавати на прихватљивој вредности), а и мања је струја у трајном раду. На овај начин су елиминисани и струјни удари на мрежу при старту, а и механички удари на мотор и пумпу који доприносе оштећењу механичких делова.

У СРРОВ инсталиране су три пужне пумпе. 2004. године једна од њих инсталисаног протока од 760 l/s и снаге погонског мотора од 75 kW, замењена је центрифугалном пумпом, протока 500 l/s и снаге 50 kW. Обзиром да је тренутни доток сирове воде од 400-500 l/s, њен капацитет у потпуности задовољава потребе постројења. Овом заменом је остварена уштеда од 25 kW/h електричне енергије. На годишњем нивоу је уштеда од 219.000 kWh.

7.4.3. Гасни мотори

CPPOV располаже са два идентична гасна мотора. Један мотор је у функцији, док је други и даље у квару, и његово сервисирање није исплативо, тако да ће највероватније бити извршена куповина новог уз помоћ донација. Пожељно би било испитати састав добијеног бигаса у постројењу, обзиром на штетне последице неких елемената, који су представљали један од фактора који су и довели до квара.

Потребно је напоменути да се код нас не поштује закон у довољној мери, тако да у канализациони систем доспевају елементи, тешки метали (уља, разређивачи, честице боје) који се не би смели испуштати и који би пре тога морали бити отклоњени одговарајућим предтретманом.

Још једна мера уштеде енергије, са аспекта енергетске ефикасности, јесте што хитнија набавка фреквентних регулатора, којима би се могао регулисати број обртаја нископритисних компресора за биоаерацију, а самим тим њихова потрошња електричне енергије би била знатно мања. Уградњом ових регулатора потрошња енергије би се могла смањити и за 1/3 у зависности од потребе компримованог ваздуха.

Тренутно највећи губитак у CPPOV је вишак гаса који се спаљује. Због немогућности искоришћења целокупног произведеног гаса у постројењу, бакља дневно сагори сса 200 m^3 . Коришћење сигурносне бакље са енергетског аспекта представља лоше решење и чист губитак.

Продукција биогаса у току времена често није константна, па је тешко да се ускладе капацитети произведеног биогаса и когенеративног постројења. Циљ је да когенеративно постројење ради приближно истом снагом и због тога је неопходно да се произведени биогаз привремено складишти. Резервоари за складиштење биогаса морају да буду херметички затворени, отпорни на повишену температуру, притисак, UV зрачење и временске утицаје. На њима се уграђују и системи за осигурање од натпритиска и потпритиска. Резервоари се димензионишу тако да имају капацитет довољан за складиштење минимум четвртине дневне производње биогаса, а препорука је да капацитет буде довољан за једнодневну или дводневну количину произведеног биогаса.

Други начин збрињавања вишка биогаса јесте да се инсталирају две мање когенеративне јединице које замењују једно веће. Када се један мотор поправља, биогаз се сагорева у другом. Резервоар за складиштење димензионише се тако да може да прими и количину биогаса која се тренутно не сагорева у гасном мотору, који се поправља.

8. Когенерација

Когенерација је истовремена производња електричне и топлотне енергије из једног јединог извора (било фосилне или обновљиве енергије) у једном једином интегрисаном систему. Главна предност у односу на традиционалну производњу енергије, која се одликује одвојеним производним процесима енергије, састоји се у искоришћавању топлоте, која обично остаје неискоришћена и која се губи у атмосфери.

Појам когенерације уско је повезан са појмом "когенеративног постројења", односно постројења које је у стању да изврши истовремену производњу електричне и топлотне енергије. Најчешћа конфигурација когенератора подразумева интеграцију мотора, који је повезан на електрични генератор, и система за искоришћавање топлоте. Когенерацијско постројење се може упоредити са агрегатом, који, уместо да произведе само електричну енергију, искоришћава и произведену топлоту и на овај начин повећава укупни учинак. Топлотна енергија се може користити за индустријске потребе, за грејање стамбених зграда или за уређаје за хлађење и климатизацију.



Слика 21. Принципа рада когенерационог постројења

Носилац топлотне енергије је најчешће водена пара или топла вода. Могу бити истовремено присутна и оба носиоца топлоте, а могуће је продукте сагоревања користити и директно у технолошком процесу (најтипичнији пример су сушаре). То зависи од конкретних потреба корисника. Могуће је решење са задовољењем само базног електричног оптерећења. У том случају уопште нема или готово нема испоруке електричне енергије у мрежу електроенергетског система. Недостајуће количине електричне енергије се обезбеђују из јавне мреже.

8.1. Когенерација и њене предности код постројења за третман отпадних вода

Когенерација је упоредни процес производње електричне и топлотне енергије из истог горива (бимаса, природни гас, биогаз, угаљ или нафта). Когенерација не представља јединствену технологију већ енергетски систем који се може прилагођавати кориснику и

извору енергије. Когенерационо постројење се састоји од низа компонената које су интегрисане у целину. Ове компоненте су: главни покретач, генератор, опрема за регенерацију енергије и електричне интерконеције. Примарни покретач који покреће цео систем чини главну компоненту постројења. Примарни покретач код когенерационог постројења обухвата клипне моторе, турбину за сагоревање, парне турбине, микротурбине и гориве ћелије. Без обзира у ком сектору се ова постројења користе предности које она остварују су следеће: већа ефикасност, поузданост, мањи утицај на окружење, мањи трошкови.

Когенерациона постројења су саставни део различитих сектора, укључујући постројења за третман отпадних вода и то у више облика:

- СНР постројења која користе гас добијен анаеробном дигестијом,
- СНР постројења која не користе биогас (могу користити природни гас),
- Регенерација топлоте спаљивањем муља која се користи за покретање Ранкиновог циклуса,
- Комбиновани топлотно-механички системи (компресор са регенерацијом топлоте).

Биогас добијен анаеробном дигестијом може бити коришћен као гориво у разним примарним покретачима: клипним моторима, микротурбинама и горивим ћелијама за добијање електричне и топлотне енергије. Добијена електрична енергија може да подмири све потребе постројења за третман отпадних вода, а топлота добијена у постројењу се може користити за потребе дигестора, а у неким случајевима и за грејање простора.

Један од начина коришћења биогаса добијеног из постројења за третман отпадних вода је у процесу когенерације. Свако постројење треба да сагледа све економске и еколошке аспекте пре одабира начина коришћења добијеног биогаса. Биогас се још може користити за:

- Потребе грејања,
- Продају индустријским постројењима или електранама,
- Добијање горива за возила са унутрашњим сагоревањем.

Добро пројектовано когенерационо постројење пружа много предности постројењима за третман воде и то:

- Производња енергије по цени испод малопродајне цене електричне енергије,
- Пошто се биогас третита као обновљиви извор енергије, постоје многи бенефити и олакшице које држава пружа,
- Повећава поузданост снабдевања постројења енергијом,
- Смањује емисију гасова стаклене баште.

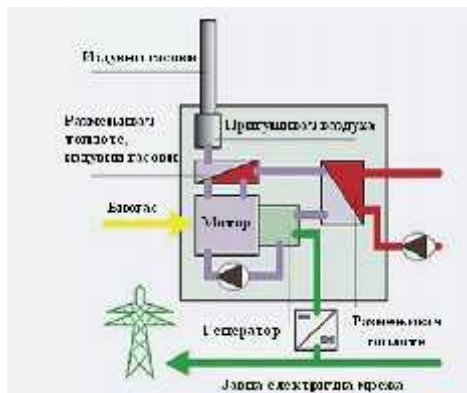
8.2. Когенеративно постројење са мотором SUS

На биогаз постројењима најчешће се примењује когенерација коришћењем мотора с унутрашњим сагоревањем, SUS. Код њих је висок је електрични степен корисности и нижа су инвестициона улагања.

Шематски приказ когенеративног постројења са мотором SUS дат је на слици 22. Механичка енергија добијена на вратилу мотора SUS преноси се на генератор електричне енергије. Најчешће се примењују синхрони генератори, док се асинхрони користе на биогаз постројењима електричне снаге до 100 kW.

Раније се сматрало да се у моторима SUS једна трећина примарне енергије трансформише у механичку, једна трећина у топлотну енергију расхладне течности (на оваквим постројењима не користе се ваздушно хлађени мотори), а да једну трећину садрже продукти сагоревања. Савремени мотори SUS имају степен искоришћења и преко 40 %, али је и тада на располагању велика количина топлотне енергије. Когенерација се остварује искоришћењем топлотне енергије расхладне течности и продуката сагоревања. Топлотна енергија која се добија из расхладне течности је на ниском температурном нивоу, па може да се искористи само за загревање воде до око 90 °C. Топла вода може да се употреби за грејање ферментора или оближњих радних или стамбених просторија. Температуре продуката сагоревања су 460 до 550 °C, па ова топлотна енергија може да се искористи за производњу технолошке паре. Уколико се топлотна енергија расхладне течности не користи, или се не користи константно, она мора да се хлади, као и на сваком другом мотору SUS, да не би дошло до прегревања.

За остварење когенерације, искоришћење топлотне енергије расхладне течности и продуката сагоревања, неопходни су одговарајући размењивачи топлоте. Такође, као и у другим случајевима, саставни део опреме су и контролно-управљачки склопови.



Слика 22. Шематски приказ когенеративног постројења са мотором SUS

9.Закључак

Производња и коришћење биогаса имају вишеструко позитивне ефекте, са становишта заштите животне средине и коришћења обновљивих извора енергије, подршке националној економији и развоју руралних области. У развијеним земљама биогас се најчешће користи у когенерацији, односно за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије. Коришћење биогаса у когенерацији на значају добија и у Србији, након увођења подстицајних цена за испоручену електричну енергију, feed-in тарифа.

Комбинованом производњом електричне и топлотне енергије може да се постигне да укупан степен корисности процеса буде и преко 85%. Због тога се примена когенерације подстиче и треба да се примењује где год је то технолошки и економски могуће, а са посебним нагласком на производњу електричне енергије.

Примена обновљивих извора енергије подржавана је на светском нивоу, са циљем да се смањи дебаланс угљендиоксида у атмосфери, односно да се умањи ефекат стаклене баште. Други разлог за примену обновљивих извора енергије јесте да се смањи коришћење фосилних горива чије су резерве ограничене. Биомаса представља један од најзначајнијих обновљивих извора енергије у светским размерама. Биомаса, као обновљиви извор енергије, обухвата сва три агрегатна стања: чврсто – различита дрвена биомаса, остаци пољопривредне производње, остаци прераде и друго, течна – биљна уља, биоетанол и гасовито – биогас. Такође, могуће је користити и биогас добијен прерадом отпадних вода. Овај потенцијал још увек није довољно искоришћен, али треба тежити да се створе повољни економски услови за већу исплативост.

Србија, уколико истраје на путу ка придруживању Европској унији, има обавезу да прати енергетску политику Уније. То значи да што више користи обновљиве изворе енергије, ради на унапређењу енергетске ефикасности, развоју и примени нових технологија за когенерацију. Друга међународна обавеза проистиче из потписивања Кјото протокола. Коришћење биомасе и биогаса за комбиновану производњу електричне и топлотне енергије један је од најперспективнијих поступака за испуњавање тих обавеза. Осим тога, коришћењем домаћих ресурса, потпомаже се привреда земље, постиже, стратешки важна, мања зависност од увоза енергената и отварају нова радна места.

10. Литература

- [1] др Небојша Вељковић, „Студија отпадних вода и технички процес стратегије одрживог развоја Србије“, Министарство енергетике и заштите животне средине, 2005.
- [2] др Мунир Б. Јахић, „Пречишћавање загађених вода“, Пољопривредни факултет, Научно-образовни институт за уређење вода, Нови Сад, 1990.
- [3] др Вања Шуштершич, „Технологије и постројења за третман отпадних вода“, скрипта, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2008.
- [4] „Зборник радова, Одрживи развој и климатске промене“, Машински факултет у Нишу, 2010.
- [5] Ely Greenberg, „Energy Audits for Water and Wastewater Treatment Plants and Pump Stations“, 2012,.
- [6] „Taking Advantage of Untapped Energy and Water Efficiency Opportunities in Municipal Water Systems“, Alliance to save energy, 2002.
- [7] др Душан Гордић, „Енерго-еко менаџмент у индустрији намештаја“, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2011.
- [8] J.Daw and K.Hallet, „Energy Efficiency Strategies for Municipal Wastewater Treatment Facilities, National Renewable Energy Laboratory, 2012.
- [9] Симпозијум „Рециклажне технологије и одрживи развој“, Технички факултет у Бору, 2009.
- [10] Марко Ристић, „Одит постројења за пречишћавање отпадних вода“ дипломски рад, Машински факултет у Крагујевцу, 2009.
- [11] Пантић Ј., „Истраживање потенцијала просечног Шумадиског села за добијање биогаса и могућност увођења когенерације“, мастер рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2010.
- [12] Драган Марковић, „Процесна и енергетска ефикасност“, Универзитет Сингидунум, Београд, 2010.

[13] Мартинов М., Ћатков Ћ., „Биогас постројење-упуство за израду претходних студија оправданости са примером за једно биогас постројење“, Факултет техничких наука у Новом Саду, 2012.

[14] др Горан Вујић, др Милош Тешић, „Студија о процени укупних потенцијала и могућностима производње и коришћења биогаса на територији АП Војбодине“, Нови Сад 2011.

[15] Марјановић Р., Матић П., “Побољшање енергетске ефикасности у пумпном постројењу коришћењем фреквентног регулатора“,Електротехнички факултет, Босна и Херцеговина, 2013.