

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Мастер академске студије
Модул: Енергетика и процесна техника
Предмет: Технологије и постројења за пречишћавање воде и ваздуха
Број индекса: 357/2010

Бојан В. Радић

**Дигестори и когенерација у процесу
пречишћавања отпадних вода**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Вања Шуштершич - ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____



У оквиру овог рада кандидат треба да сагледа рад и примену дигестора у третману отпадних вода. Такође, треба да се осврне на врсте дигестора, њихову примену и да нарочито обрати пажњу на могућност примене дигестора у когенерацији.

Препоручена литература:

- [1] Д. Љубисављевић, А. Ђукић, Б. Бабић: Пречишћавање отпадних вода, Грађевински факултет, Београд, 2006
- [2] Др М. Мартинов: Студија о процени укупних потенцијала и могућностима производње и коришћења биогаса на територији АП Војводине, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2011.
- [3] Др В. Шуштершич, Третман отпадних вода, скрипта, Машински факултет, Крагујевац, 2008

Крагујевац, 03.08.2012. год.

ментор:

др Вања Шуштершич, ванр. проф.



Резиме:

Један од проблема третмана отпадних вода је одлагање муља, и он представља и до 50% операционих трошкова. Решење овог проблема је анаеробна дигестија, која има способност да претвара органску материју у биогаз (са 60-70% метана, CH_4), и такође да редукује количину финалног обрађеног муља - дигестата за одлагање. Због тога, анаеробна дигестија оптимизује трошкове третмана отпадних вода, њен утицај на животну средину, и сматра се главним и суштинским делом модерног постројења за третман отпадних вода. Да би се убрзао процес дигестије и повећала производња биогаза, различити предтретмани се могу применити да би се побољшао процес дигестије у анаеробним дигесторима. Користећи процес когенерације, произведени биогаз из дигестора се може користити за производњу електричне енергије (за продају електродистрибуционој компанији по повлашћеној цени, или за снабдевање сопственог постројења и оближњих потрошача) и/или топлотне енергије (за загревање дигестора или топлификације оближњих домаћинстава и стаклених башти). Когенерација је еколошки врло прихватљива, зато што се кроз процес уопште не испушта метан у атмосферу.

Кључне речи: анаеробна дигестија, когенерација, дигестор, третман отпадних вода

Abstract:

One of the problems with wastewater treatment is disposal of sludge, and it present up to 50% of operation costs. The solution of this problem is anaerobic digestion, which has ability to transform organic matter into biogas (with 60-70% of methane, CH_4), and also to reduce the amount of final sludge solids for disposal. Therefore, anaerobic digestion optimises wastewater treatment costs, its environmental footprint, and is considered a major and essential part of a modern wastewater treatment plant. To accelerate the digestion and enhance the production of biogas, various pre-treatments can be used to improve process of digestion in anaerobic digesters. Using the process of cogeneration, produced biogas from digesters can be used for electricity production (for selling to electrodistribution companies for privileged price, or supplying their own plant and near by consumers) or thermal production (for heating digester or supplying near by households and greenhouses). Cogeneration is ecologically very acceptable, because it doesn't release any methane into the atmosphere.

Key words: anaerobic digestion, cogeneration, digester, wastewater treatment



Садржај

1.	Увод.....	6
2.	Улога дигестора у пречишћавању отпадних вода.....	8
2.1	Пречишћавање отпадних вода	8
2.2	Централна постројења за прераду отпадних вода.....	9
2.2.1	Линија воде	12
2.2.2	Линија муља	14
2.2.3	Линија гаса.....	15
3.	Анаеробна дигестија.....	16
3.1	Биогас.....	17
3.2	Фазе настанка биогаса	19
3.3	Параметри анаеробне дигестије.....	21
3.4	Пречишћавање биогаса.....	26
3.5	Радни параметри дигестора.....	28
3.5.1	Садржај органске материје у дигестору.....	28
3.5.2	Време хидрауличног задржавања	28
3.5.3	Листа показатеља	29
4.	Когенерација.....	31
4.1	Когенерациони модул.....	31
4.2	Поређење технологија	32
4.3	Гасни мотори	34
4.3.1	Когенеративно постројење са мотором СУС.....	34
4.3.2	Когенеративно постројење са ото моторима	34
5.	Дигестори.....	36
5.1	Дигестори прве генерације.....	37
5.2	Дигестори друге генерације	39
6.	Управљање радом дигестора	42
6.1	Основне конфигурације једноступеног и двоступеног анаеробног дигестора.....	44
6.2	Загревање дигестора	45
6.2.1	Размењивач топлоте	46
6.2.2	Губици топлоте у дигестору	48
6.3	Мешање садржаја дигестора	48
6.4	Складиштење биогаса.....	50
6.5	Опис рада	52



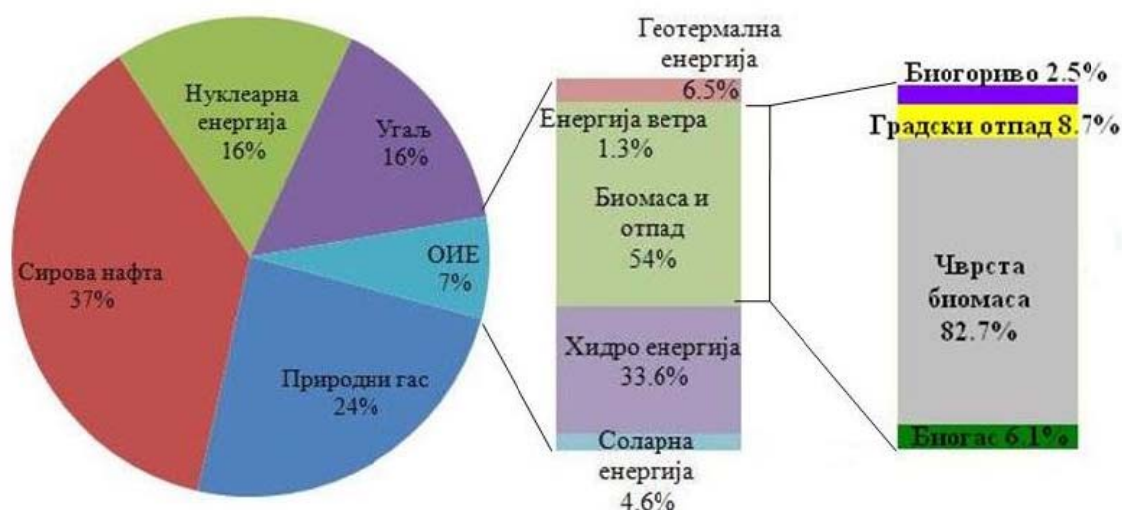
6.5.1	Напојна смеша	52
6.5.2	Оптерећење	52
6.5.3	Одвођење муља из дигестора	53
6.5.4	Супернатант	53
6.6	Контрола и управљање процесом	54
7.	Пројектовање дигестора	56
7.1	Склапање 3D модела когенеративног постројења за коришћење биогаса при третману отпадних вода	58
8.	Софтверско прорачунавање производње биогаса	62
8.1	Софтверско пројектовање дигестора	64
8.2	Производња гаса	64
8.3	Ефикасност когенерацијског постројења	65
8.4	Производња електричне и топлотне енергије	65
8.5	Приход од продаје произведене електричне струје	66
8.6	Вредност инвестиције	66
8.7	Укупна добит постројења	66
	Закључак	67
	Литература	68



1. Увод

Данашње глобално снабдевање енергијом у великој мери зависи од фосилних извора (сирова нафта, лигнит, угаљ и природни гас, слика 1.1). Ови извори енергије фосилизовани су остаци биљака и животиња који су стотинама милиона година били изложени високим температурама и притиску унутар Земљине коре. Управо због тога фосилна горива су необновљиви извори енергије, чије се резерве исцрпљују знатно брже него што се стварају нове.

За разлику од фосилних горива, биогаз произведен методом анаеробне дигестије је трајно обновљив извор енергије, будући да се производи из биомасе која у себи процесом фотосинтезе складишти сунчеву енергију. Анаеробна дигестија не придоноси само енергетском балансу појединих држава, већ доприноси очувању природних ресурса и повољно делује на животну средину [1].



Слика 1.1 Удео коришћења биогаза у укупној потрошњи енергената у Европи [2]

Фосилна горива су ограничени ресурси, концентрисани на неколико географских подручја наше планете. Земље које се налазе изван подручја богатих нафтом имају несигуран статус и зависност од увоза енергената. Већина европских земаља снажно зависи од увоза фосилних горива из подручја богатих фосилним горивима, као што су Русија и земље Блиског истока. Развој и имплементација система обновљивих извора енергије као што је биогаз из анаеробне дигестије, засновани су на националним ресурсима, повећању стабилности националног снабдевања енергијом и смањивању зависности од увоза енергената.

Анаеробна дигестија је процес разлагања органске материје без присуства кисеоника, који је уобичајен у природи и животној средини, а данас се увелико примењује у производњи биогаза у ваздушно-непропусним реакторима, званим дигестори. У поступку анаеробне разградње деловањем различитих врста микроорганизама, настају два главна производа: биогаз и дигестат.



Биогас је запаљиви гас који се састоји од метана, угљен-диоксида, осталих гасова и елемената у траговима.

Постројење за производњу биогаса не производи само енергију. Биомаса преостала након анаеробне разградње органске материје – дигестат, представља вредно ђубриво, богато азотом, фосфором, калијумом и микро-нутријентима. За распрострањавање по пољопривредној површини може се користити иста механизација која се користи за свеже стајско ђубриво и гнојницу. У поређењу са свежим стајским ђубривом, дигестат има знатно боља ђубрива својства, захваљујући хомогенитости и већој хранљивој вредности, бољем односу угљеника и азота, те готово потпуном недостатку непријатног мириса.

Енергетска криза раних 70_их година прошлог века резултирала је порастом свести о коришћењу обновљивих извора енергије, укључујући и биогас из анаеробне дигестије. Занимање за биогас повећало се због глобалних напора усмерених на замену фосилних горива обновљивим изворима, те тражења еколошки прихватљивог решења за обраду органског отпада. Коришћењем анаеробних дигестора, смањује се притисак на депоније и емисију гасова који изазивају ефекат стаклене баште.

У поређењу са другим биогоривима, биогас из анаеробне дигестије представља важан приоритет у Европским директивама за транспорт и енергију. Биогас представља јефтин и угљен-диоксично неутралан извор обновљиве енергије, који даје могућност прераде и рециклирања разних остатака из прераде отпадних вода на одржив и еколошки прихватљив начин. Истовремено, биогас са собом повлачи и неколико социо – економских користи за друштво, као целину, али и за инвеститоре укључене у његову производњу и искоришћавање [1].



2. Улога дигестора у пречишћавању отпадних вода

2.1 Пречишћавање отпадних вода

Развој насеља и повећање стандарда становништва увећавају загађење човекове околине, а међу најтеже облике загађења свакако убрајамо и загађење вода. Потрошња воде за разне потребе постаје све већа, што узрокује и пораст количина отпадних вода. Оваквим трендом пораста загађења вода значајно се угрожава човекова животна средина. Узимајући у обзир чињеницу да већина насеља данас не располаже са исправним санитарно-техничким решењем одвођења отпадних вода, неопходно је приступити изградњи јединственог система одвођења и пречишћавања отпадних и загађених вода што је нужни корак према очувању здраве човекове околине.

Природна или кондиционирана вода, пошто је једном искоришћена за одређену намену постаје употребљена или отпадна вода. Том приликом у њен састав улази мања или већа количина различитих примеса – загађивача, односно њене физичке, хемијске и биолошке карактеристике се у току употребе толико мењају да она постаје неподобна за ону употребу при којој је и настала.

Отпадне воде су проблем који прати човека кроз целу историју његовог постојања, од појаве првих цивилизација и градова, и оне су сматране нужним злом које прати развој сваке цивилизације и града.

Развојем људске заједнице, порастом броја становника и њиховом концентрацијом у великим градовима, количина органских отпадних вода се знатно повећала. Њиховим концентрисаним испуштањем у реке, онемогућаван је процес самопречишћавања и природног биолошког пречишћавања. Осим тога, развојем индустрије крајем 19. и почетком 20. века, човек све више користи воду, а као резултат индустријске производње, настаје не само органско, већ и хемијско (неорганско) загађење воде. Због свега тога се јавила потреба за производњом вештачких биолошких, али и хемијских процеса пречишћавања.

Све отпадне воде би се по правилу требале третирати у постројењима за пречишћавање отпадних вода, међутим у пракси то није случај. Док у развијеним земљама постоји читав низ различитих постројења за пречишћавање отпадних вода, у нашој земљи се већина отпадних вода испушта у водотоке без претходног пречишћавања.



2.2 Централна постројења за прераду отпадних вода

Централизовано пречишћавање отпадних вода насеља (слика 2.2.1) је доминантна пракса у свету у области пречишћавања отпадних вода, које сачињавају процеси пречишћавања отпадних вода насеља конципирани као процеси који се одвијају у централизованом постројењу, у коме се обрађују све отпадне воде које доспевају јавном канализацијом, са пожељним изузетком атмосферских отпадних вода, уколико је у насељу предвиђена или изграђена посебна канализација за тзв. атмосферске воде (срећу се и називи „кишна канализација“ и „оборинска канализација“) [3].



Слика 2.2.1 Централно постројење за пречишћавање отпадне воде [4]

Поступке пречишћавања отпадних вода можемо груписати у 4 групе:

(а) поступак претходне обраде (уклањање грубог материјала решетком; уклањање инертног материјала, у тзв. хватачу песка),

(б) примарно пречишћавање (по правилу се примењује поступак уклањања суспендованих честица у гравитационом таложнику),

(ц) секундарно пречишћавање (уклањања биоразградивог органског једињења, најчешће неком од изведби аеробног биолошког процеса пречишћавања са активним муљем), често комбинованог са

(д) тзв. терцијарним пречишћавањем, које се у случају обраде отпадних вода насеља по правилу састоји од уклањања тзв. нутриената, азота и фосфора, који су главни узрочници еутрофикације пријемника пречишћених отпадних вода; или се



терцијално пречишћавање изводи као посебна фаза процеса пречишћавања, након секундарног пречишћавања.

Примарно пречишћавање отпадних вода може да обухвата поступак:

1. уједначавања количине и оптерећења отпадних вода;
2. поступке уклањања крупног (грубог) материјала из отпадних вода;
3. лако таложивих суспендованих честица;
4. слободних уља и масти; и
5. суспендованих честица.

Треба нагласити, да се поступци набројани под (1)-(4) често дефинишу као поступци претходне обраде отпадних вода (енглески: preliminary treatment) – који се користе у првом реду са циљем заштите и/или олакшавања даљег процеса пречишћавања – а да се само уклањање суспендованих честица сматра примарним пречишћавањем. Примарним пречишћавањем (слика 2.2.2) се не може пречистити отпадна вода до степена који допушта њено директно испуштање у водопријемник; али се може, у одређеним случајевима, пречистити у довољној мери да се дозволи њено испуштање у јавну канализацију, јер су услови за квалитет отпадних вода који се испуштају у јавну канализацију далеко блажи од услова за директно испуштање у пријемник [3].



Слика 2.2.2 Упростијена шема примарног пречишћавања отпадне воде [5]

Секундарно пречишћавање отпадних вода обухвата поступке уклањања колоидно диспергованог и раствореног биолошки разградљивог органског загађења. Ти поступци су засновани на активности одговарајуће микрофлоре, која користи биолошки разградљиве органске материје загађења као свој супстрат. Секундарним пречишћавањем (слика 2.2.3) се у већини случајева отпадна вода пречишћава до



степену који допушта њено директно испуштање у водопријемник. Међутим, стандардним секундарним пречишћавањем се из отпадне воде не уклањају у довољној мери тзв. нутриенти, односно материје које садрже азот и фосфор, и који су узрочници еутрофикације пријемника воде, тако да се, у случају да је пријемник секундарно пречишћених отпадних вода подложен еутрофикацији, мора применити и терцијално пречишћавање отпадних вода, са циљем уклањања нутриената. Поступци терцијалног пречишћавања, односно уклањања азота и фосфора, могу се укључити у систем секундарног пречишћавања или извести као посебан степен пречишћавања, након примењеног секундарног пречишћавања.



Слика 2.2.3 Упрошћена шема секундарног пречишћавања отпадних вода [5]

Терцијарно пречишћавање се намеће као неминовност уколико се пречишћена отпадна вода испушта у пријемник који је осетљив на еутрофикацију, јер се у том случају поштрљавају норме за садржај азота и фосфора у (секундарно) пречишћеној отпадној води. У појединим случајевима, уколико микрофлора пречишћене воде може у значајној мери негативно да утиче на микрофлору пријемника, неопходно је извести и дезинфекцију пречишћене отпадне воде, за шта се у савременој пракси препоручује превођење пречишћене отпадне воде преко посебно конструисаних УВ-лампи [4].

Цео процес пречишћавања отпадних вода у централизованим постројењима се може грубо поделити на 3 целине:

- линију воде
- линију муља
- линију гаса



2.2.1 Линија воде

Принцип рада постројења за прераду отпадних вода састоји се од пумпања отпадне воде, уклањања грубог и инертног материјала, примарног таложења, биолошке аерације, секундарног таложења и обраде насталог муља до коначног одлагања.

Почетак пречишћавања представља црпна станица сирове воде (слика 2.2.1.1) која има за циљ да сву количину отпадне воде подигне на већу висину, што омогућује гравитационо протикање воде кроз постројење, а све процесе које обрађују воду у постројењу сматрамо „линијом воде“. За подизање воде на виши ниво се најчешће примењују пужне пумпе, које имају отворену конструкцију, мали број обртаја и електромоторни погон. Еластична спојница служи за компензацију удара и несаосности, а редуктор за смањење броја обртаја електромотора. Најчешће се користе 2-3 пужне пумпе, од којих је једна резервна.



Слика 2.2.1.1 Црпна станица са пужним пумпама [6]

Сирова вода се пужним пумпама даље доводи до равне аутоматске решетке постављене под углом од 75° и са међусобним размаком између челичних шипки од 10 cm, чиме се спречава продор крупних тела у остале уређаје за пречишћавање. Сакупљени материјал се сабија и шаље тракастим транспортером у контејнер за даље одлагање.

Аерисани песколов се састоји из аерисаног таложника са коничним дном и компресора за аерацију песколова. Служи за смањење оптерећења примарног таложника и абразије механичке опреме, уклањањем инертног материјала који има бржу брзину таложења од честица органских материја. Теже честице падају на дно, а затим се усисавају као смеша песка и воде помоћу мобилне усисне пумпе. Довођењем ваздуха контролише се брзина таложења честица. За компресију ваздуха се користе нископритисни компресорски агрегати. Муљне пумпе се налазе на дну моста који врши кретање са једног на други крај песколова, вршећи усисавање талоба са дна песколова.



Примарни таложник (слика 2.2.1.2) служи за уклањање суспендованих материја, фосфата и осталих растворених материја, као и одређену количину рециркулисаног активног муља. Суспензија се равномерно распоређује по пресеку базена, где се згртачем потискују ка конусном дну на средини таложника, у левак за муљ. Згртач за муљ је обешен на носеће цеви моста, а његови крајеви се ослањају на дну таложнице преко котрљајућих точкова обложених гумом. У висини нивоа воде поставља се скидач пене и пливајућих материја. Све пливајуће материје потискују се према каналу на ивици базена, и одатле одводе у примарни угушћивач.



Слика 2.2.1.2 Згртач муља и пливајућих супстанци у испразњеном примарном таложнику [7]

Биолошка аерација отпадних вода се може извршити у биоаерационим базенима, аерисаним лагунама или биофилтрима. Биоаерациони базени (слика 2.2.1.3) користе процес са активним муљем. Активни муљ је суспензија активних и изумрлих микроорганизама који се налазе у отпадној води са суспендованим колоидним и раствореним неорганским и органским материјама. Активни муљ је, такође, водена средина у којој се при константном мешању отпадне воде и рецикулацији муља развијају бројни микроорганизми, при чему су највише заступљене хетеротрофне бактерије, фунги и протозое. Муљ садржи пуно везане воде, и има велику моћ адсорпције. У биоаерационим базенима се одвијају метаболичке реакције синтезе и респирације, при чему се формира микробиолошки флок који се храни органским материјама из отпадне воде.



Слика 2.2.1.3 Биоаерациони базен



У секундарним таложницима таложи се активни муљ из биоаерационих базена. Основна улога финалних таложника је:

- обезбеђење концентрације суспендованих материја на излазу у складу са захтевом,
- обезбеђење концентрације ВРК₅ (петодневна биолошка потрошња кисеоника) 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.

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

2.2.2 Линија муља

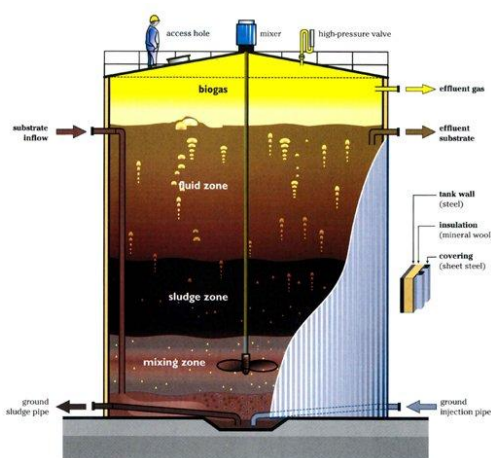
У току рада постројења у секундарним таложницима се формира муљ који се делом враћа у биоаерационе базене, а већим делом заједно са муљем из примарног таложника одлази у примарни угушћивач, односно на третман муља.

Угушћивање представља први процес у линији муља. Примењује се најчешће гравитациони угушћивач (слика 2.2.2.а), који издваја вишак воде из пристиглог муља, са циљем максималног смањења запремине, изједначавања и ускладиштења муља, тј. припреме за анаеробну обраду.

Анаеробна обрада муља се врши у херметички затвореним резервоарима – дигесторима (слика 2.2.2.б). Муљ континуално пристиже у дигестор, где се врши мешање и загревање муља, ради ослобађања биогаза. Преврели муљ – дигестат се шаље на секундарни угушћивач.



а)



б)

Слика 2.2.2 Линија муља; а) примарни угушћивач; б) пресек дигестора [8]



Улога секундарног – финалног таложника је угушћавање дигестата. Дигестат је богат микро и макро-нутријентима, што значи да је одлично биљно ђубриво.

2.2.3 Линија гаса

Дигестијом муља у дигестору настаје биогаз. Муљ у дигестору при оптималним условима мора провести најмање 15-20 дана како би се ослободила довољна количина биогаза. Најважнија супстанца биогаза је метан (око 64 %), следи угљен-диоксид (око 35%), остатак представљају незнатне количине водене паре, водоник-сулфида, амонијака, азота и др. На врху дигестора се врши његово скупљање, и одвођење у резервоар за складиштење биогаза.

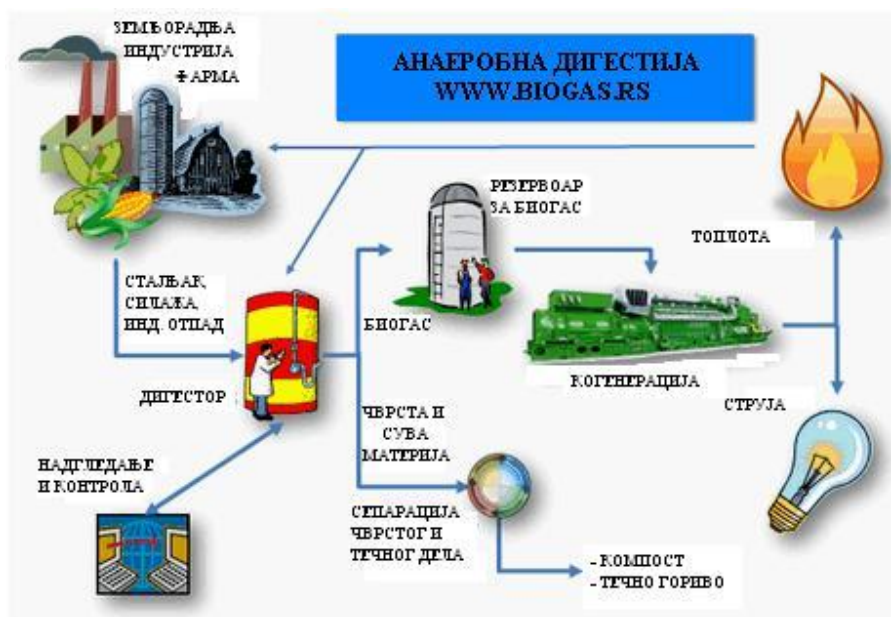
Когенерацијом (поглавље 4.), уз помоћ гасног мотора, се биогаз преводи у друге облике енергије, топлотну и електричну. Вишак гаса се спаљује, како не би доспео у атмосферу, јер је метан јако штетан по озонски омотач.



3. Анаеробна дигестија

Анаеробна дигестија је процес у којем се комплексна органска једињења разграђују деловањем различитих врста бактерија у анаеробним условима (без присуства кисеоника). Анаеробна дигестија је природан процес који се свакодневно догађа у природи, на пример у морском седименту, у пробави преживара или приликом настанка тресета. Код биогазних постројења, резултати анаеробне дигестије су биогаз и дигестат. У случајевима када се за процес анаеробне дигестије користи хомогена мешавина из два или више различита супстрата (као на пример гнојница и органски отпад из прехранбене индустрије), поступак се назива кодигестија.

Анаеробна дигестија се примењује ради стабилизације и смањења коначне количине отпадног муља. Технологија третирања отпадних муљева анаеробном дигестијом добро је развијена. Већина инжењерских компанија које спроводе третман отпадних вода има капацитета и за примену анаеробне дигестије. Зависно од националних прописа и приоритета, у земљама ЕУ се од 30 до 70 % отпадних муљева обрађује поступком анаеробне дигестије. Течни остатак се може користити као ђубриво на пољопривредним површинама или за производњу енергије спаљивањем. У неким земљама муљеви се одлажу на одлагалишта отпада. Оваква пракса негативно утиче на животну средину ради процеђивања хранљивих материја у подземне воде и емисија загађујућих материја у атмосферу, те је стога забрањена у већини Европских земаља [1].



Слика 3.1. Шема анаеробне дигестије [9]



3.1 Биогаз

Биогаз настаје микробиолошким процесом у анаеробним условима (без присуства кисеоника). Анаеробне бактерије разграђују органске материје, а као продукт овог процеса настаје биогаз, топлота и остатак ферментације. Процес анаеробне разградње (ферментације) широко је распрострањен у природи, где год постоје анаеробни услови и анаеробне бактеријске врсте. Примери су: муљ у мочварама, дно мора и океана, а процес се делимично одвија и приликом складиштења стајњака. Током производње биогаза настаје врло мало топлоте у поређењу са аеробном разградњом (уз присутност кисеоника) или компостирањем. Енергија која се налази у хемијским везама супстрата ослобађа се у облику метана. Под појмом биогаз подразумева се гас настао под контролисаним условима у анаеробним ферментаторима, односно у биогаз постројењима. Биогаз је мешавина гасова, чију запремину чини око две трећине метан (CH_4) и једну трећину угљендиоксид (CO_2). Осим метана и угљендиоксида, запремину биогаза чине и други гасови у знатно мањем уделу, а преглед је дат у табели 3.1.1. Запремински удели приказани су процентуално, а зависе од сировине (супстрата) и услова у којима биогаз настаје [10].

Табела 3.1.1 Састав биогаза (Kaltschmitt i Hartmann, 2001; Al Seadi et al, 2008) [10]

Састојак	Хемијски симбол	Запремински удео [%]
Метан	CH_4	50-75
Угљендиоксид	CO_2	25-45
Водена пара	H_2O	2-7
Кисеоник	O_2	< 2
Азот	N_2	< 2
Амонијак	NH_3	< 1
Водоник	H_2	< 1
Водоник-сулфид	H_2S	< 0.02

На централном постројењу за пречишћавање отпадних вода (ЦППОВ) - Крагујевац урађена је вишеструка анализа узорка биогаза у периоду фебруар-март 1991. год. Узорци су узети при нормалном раду постројења. Добијене вредности су дате у табели 3.1.2 [11].

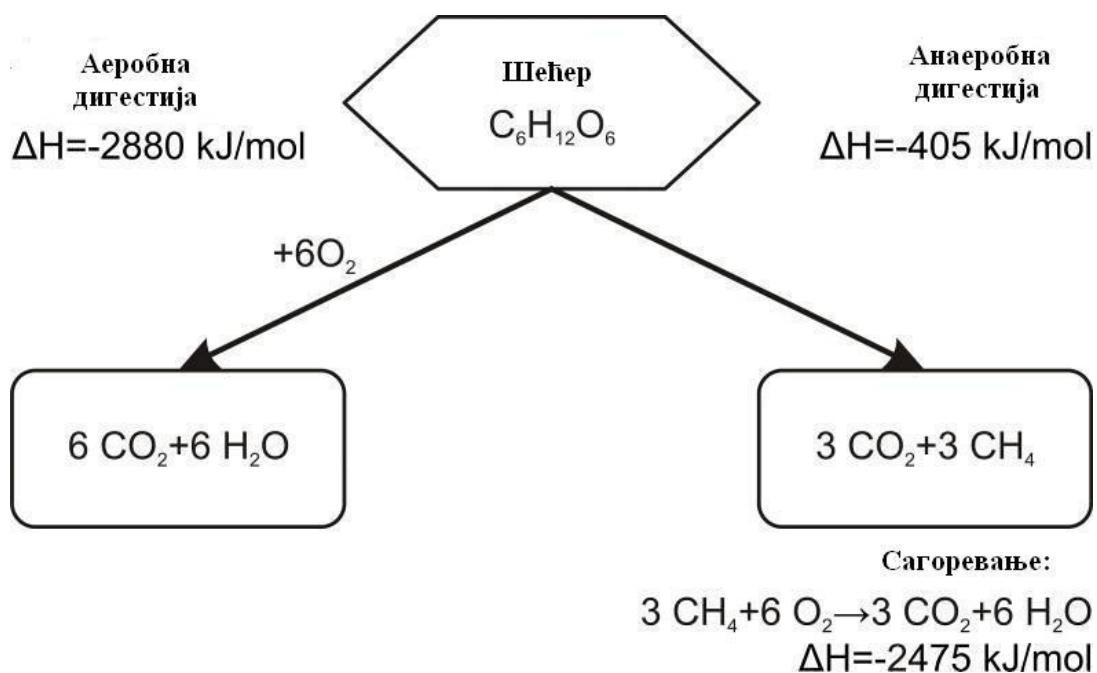
Табела 3.1.2 Састав биогаза добијеног пречишћавањем отпадних вода града Крагујевца

Компонента	Бројна вредност	Јединица
Метан	63,885	%
Азот	0,005	%
Угљен-диоксид	36,110	%
Укупан сумпор	47	mg/m^3
Прашина (честице)	7,5	mg/m^3
Укупни халогени угљоводоници	17,8	mg/m^3
Амонијак	1,7	mg/m^3



Значај анаеробне ферментације најлакше се увиђа поређењем с аеробном (пример је процес компостирања), а основна разлика је у насталим продуктима. Шематски приказ аеробне и анаеробне ферментације шећера дат је на сл. 3.1.1. Суштина је да се

након анаеробне ферментације ослобађа значајно мање топлотне енергије. Аеробном ферментацијом органска маса се разграђује до угљен-диоксида, док се анаеробном добија метан. Метан је гориви гас, а циљ је управо његова производња и енергетско коришћење [10].



Слика 3.1.1 Поређење аеробне и анаеробне ферментације [10]

Биогас добијен анаеробном дигестијом органских отпадних материја, спада у групу горивих гасова. Састав и особине биогаса мењају се у зависности од врсте полазног материјала (биомасе) и од технолошких услова за време процеса дигестије. Анализе топлотне моћи биогаса се донекле разликују од аутора до аутора, али се углавном крећу око 20 MJ/m^3 . Ради поређења у табели 3.1.3 су наведене топлотне моћи неких других врста гасова који су најчешће у употреби [11].

Табела 3.1.3 Поређење топлотних моћи гасова

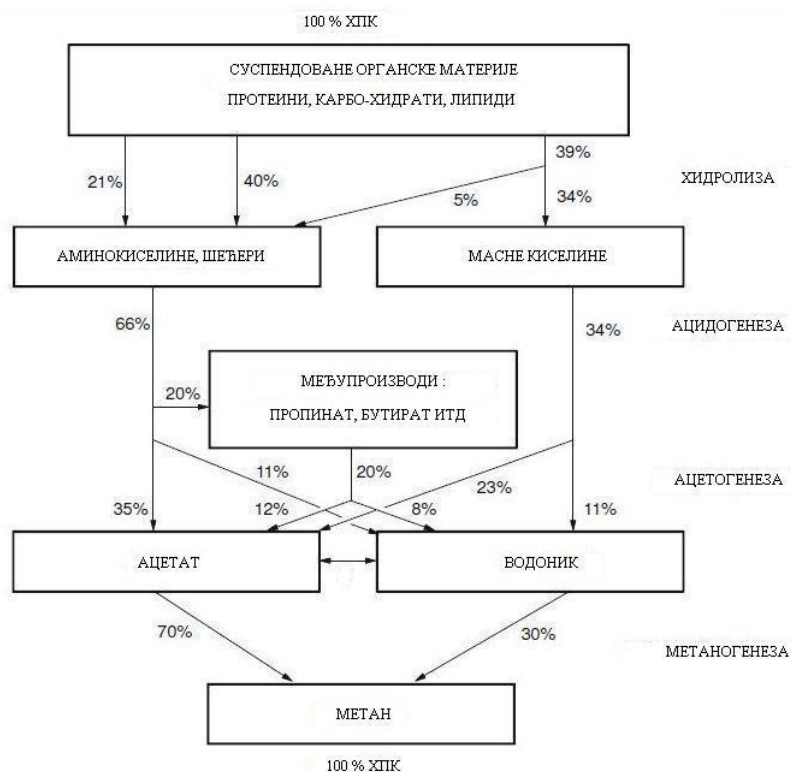
Врста гаса	Доња топлотна моћ		
	kJ/m^3	kcal/m^3	kWh/m^3
Биогас	22000	5200	6.1
Чисти метан	35880	8571	9.9
Природни гас	38500	9200	10.7

Топлотна моћ биогаса може се повећати уколико се одстрани угљен-диоксид (CO_2). Такође, може бити корисно одстранити влагу из биогаса, тј. осушити га. Сушењем биогаса водоник-сулфид (H_2S) који се у њему налази престаје да буде корозиван, али задржава и даље свој карактеристичан упозоравајући мирис [11].



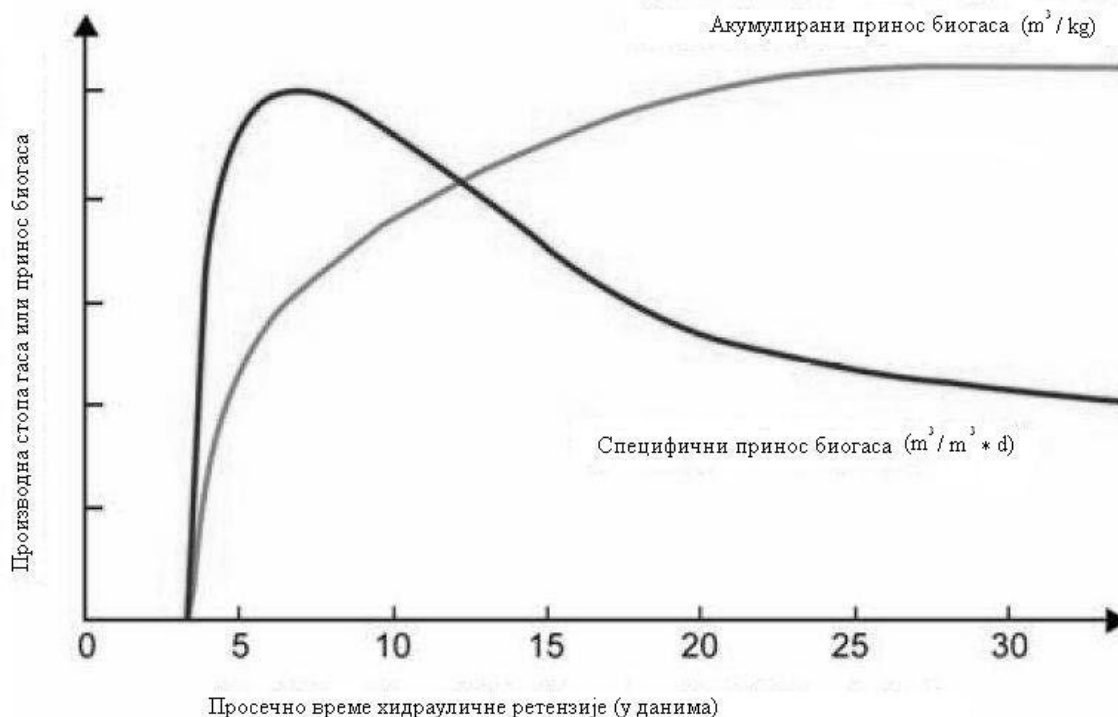
3.2 Фазе настанка биогаза

Процес настанка биогаза резултат је низа повезаних процесних корака током којих се иницијални супстрат разлаже на све једноставније спојеве, све до настанка биогаза. У појединим фазама производње биогаза делују специфичне групе микроорганизама. Поједностављени дијаграм анаеробне дигестије приказан је на слици 3.2.1. Наглашене су четири главне фазе у процесу настанка биогаза: хидролиза, ацидогенеза, ацетогенеза и метаногенеза [1].



Слика 3.2.1 Настанак биогаза (разлагањем) [12]

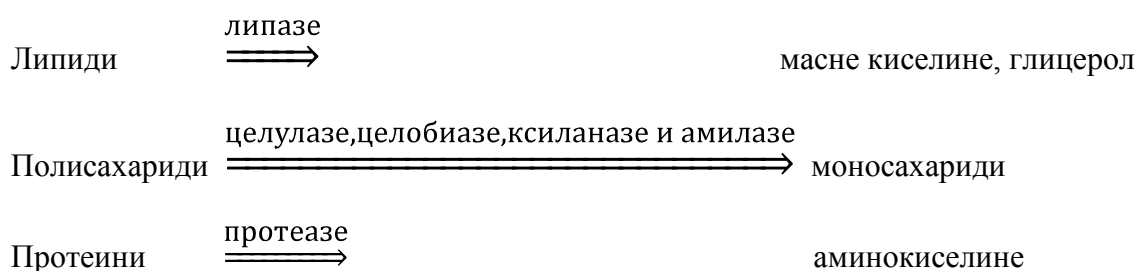
Кораци у процесу добијања биогаза приказани на слици 3. се одвијају паралелно у времену и простору дигестора. Брзина укупног процеса разлагања је једнака најспоријој реакцији у низу. Код биогазних постројења која раде на разлагању биљних супстрата који садрже целулозу, хеми-целулозу и лигнин, брзина процеса се одређује брзином хидролизе. Током фазе хидролизе настаје релативно мала количина биогаза. Производња биогаза врхунац достиже у фази метаногенезе. Однос између настанка биогаза и трајања времена хидрауличног задржавања (задржавање супстрата унутар дигестора) приказан је на слици 3.2.2 [1].



Слика 3.2.2 Производња биогаза повећавањем количине супстрата [1]

Хидролиза

Хидролиза је теоретски прва фаза АД током које се органска материја (полимери) разлаже на мање јединице зване мономери и олигомери. Полимери попут угљених хидрата, липида, аминокиселина и беланчевина трансформишу се у глукозу, глицерол, пурине, пиридине и сл. Хидролитичке бактерије луче хидролитичке ензиме и трансформишу биополимере у једноставне и растворљиве спојеве како је приказано:



Описани ланчани процеси одвијају се истовремено унутар дигестора. Брзина целокупног процеса разградње одређена је брзином одвијања најспорије реакције у ланцу. У процесу хидролизе учествује широки спектар бактерија које излучују екзоензиме, који разграђују честице супстрата. Продукти хидролизе даље разграђују (варе) присутне бактерије, које уједно користе ове спојеве за сопствене метаболичке процесе.



Ацидогенеза

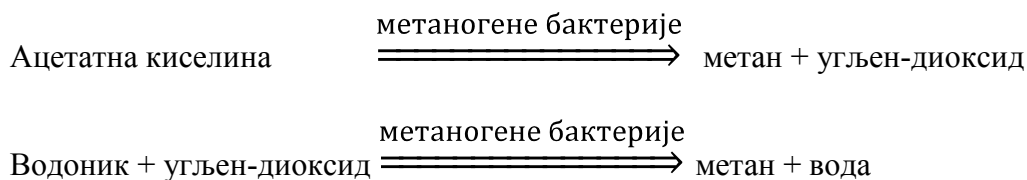
У фази ацидогенезе производи хидролизе се уз помоћ ацидогених бактерија (ферментације) трансформишу у метаногене спојеве. Једноставни шећери, аминокиселине и масне киселине разграђују се на ацетат, угљен-диоксид и водоник (70%), те на испарљиве масне киселине и алкоhole (30%).

Ацетогенеза

Током ацетогенезе се производе ферментације који се не могу метаногеним бактеријама директно трансформисати у метан, већ се претварају у метаногене спојеве. Испариве масне киселине и алкоhole оксидирају у ацетат, водоник и угљен-диоксид. Испариве масне киселине које имају ланце угљеника дуже од две јединице и алкохол с више од једног молекула угљеника оксидирају у ацетате и водоник. Настанак водоника повећава парцијални притисак водоника у дигестору, што се може сматрати отпадним производом ацетогенезе, јер инхибира метаболизам ацетогених бактерија. Током метаногенезе водоник се трансформише у метан. Процеси ацетогенезе и метаногенезе углавном се одвијају паралелно као симбиотско деловање две групе организама.

Метаногенеза

Производња метана и угљен-диоксида подстакнута је активношћу метаногених бактерија. 70 % метана настаје из ацетата, док осталих 30 % настаје претварањем из водоника и Угљен-диоксида, како је описано у једначини:



Метаногенеза је кључни корак у целом процесу анаеробне разградње, јер представља најспорију биохемијску реакцију у производњи биогаса. Метаногенеза увелико зависи од услова рада, односно услова медија. На успешност метаногенезе утиче низ фактора као што су састав сировине, степен допуне дигестора, температура и рН вредност супстрата. Претрпавање дигестора, промена температуре и повећани доток кисеоника обично резултирају заустављањем производње метана [1].

3.3 Параметри анаеробне дигестије

Ефикасност анаеробне дигестије зависи од неколико кључних параметара, па је врло важно осигурати оптималне услове за развој анаеробних микроорганизама. На њихов раст и активност снажно утиче недостатак кисеоника, температура, рН вредност, снабдевеност хранљивим материјама, интензитет мешања као и присутност инхибитора. Метанске бактерије строги су анаероби и зато се мора спречити сваки доток кисеоника у дигестор.



1. Температура

Сам поступак анаеробне дигестије може се одвијати на различитим температурама. Температуре се класификују у три температурне зоне:

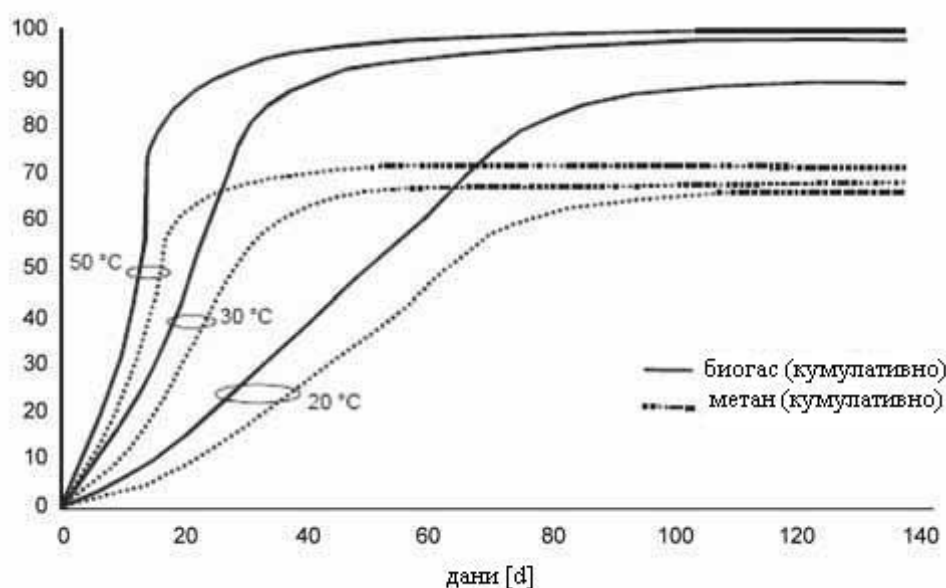
психрофилну температурну зону (испод 25°C), мезофилну зону ($25 - 45^{\circ}\text{C}$) и термофилну зону ($45 - 70^{\circ}\text{C}$).

Дужина трајања поступка анаеробне дигестије у директној је вези с температуром на којој се поступак одвија. (табела 3.3.1)

Табела 3.3.1 Температура и дужина трајања процеса

Температурна зона	Процесне температуре	Минимално време трајања процеса
Психрофилно	$< 20^{\circ}\text{C}$	70 до 80 дана
Мезофилно	30 до 42°C	30 до 40 дана
Термофилно	43 до 55°C	15 до 20 дана

Стабилност температуре је кључна за анаеробну дигестију. У пракси, радна температура се бира према врсти супстрата, а неопходна температура се одржава путем подних или зидних система грејања унутар дигестора. На слици 3.3.1 приказана је стопа релативног приноса биогаза у зависности од температуре и времена ретенције.



Слика 3.3.1 Релативни принос биогаза у зависности од температуре и времена задржавања [1]

Већина савремених постројења за производњу биогаза раде на термофилним температурама, јер то има бројне предности у односу на процесе који се одвијају на мезофилним и психрофилним температурама:

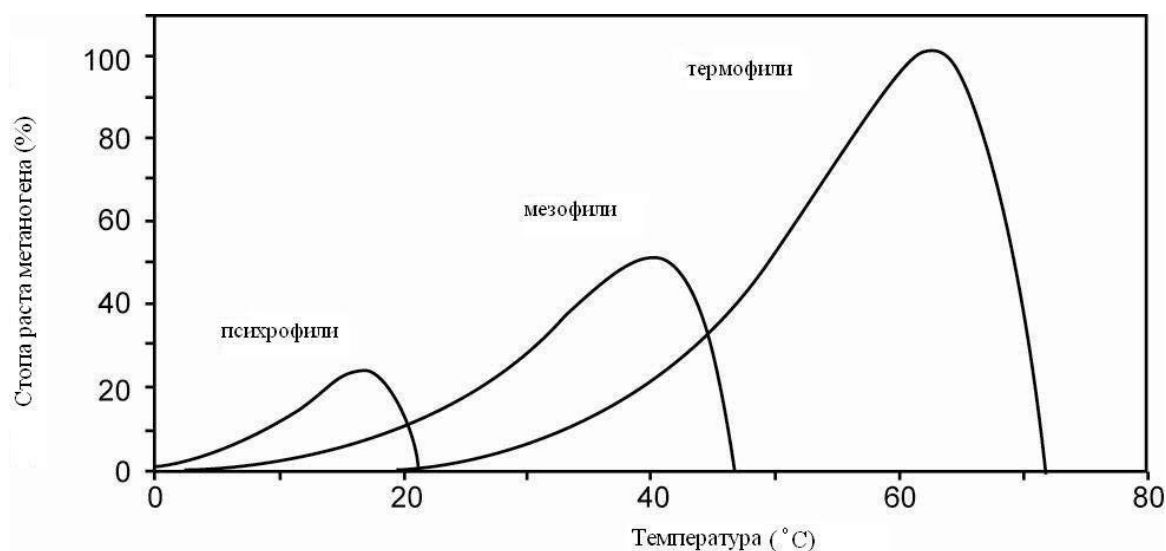


- ефикасно уништење патогена
- виша стопа раста метаногених бактерија на вишим температурама
- краће време дигестије, што процес чини бржим и ефикаснијим
- побољшана разградња и искористивост хранљивих материја из супстрата
- боља разградња чврстих материја и искористивост супстрата
- боља могућност раздвајања текуће и круте фракције супстрата

Недостаци процеса производње при термофилним температурама манифестују се у:

- већем степену неравнотеже
- већој потрошњи енергије ради постизања већих температура загревањем
- већем ризику од инхибиције амонијаком (стварање амонијака).

Температура на којој се одвија анаеробна дигестија утиче на токсичност амонијака. Токсичност амонијака повећава се с порастом температуре, а може се смањити снижавањем температуре процеса. Али, смањење температуре процеса на 50°C или ниже узрокује драстичан пад раста термофилних микроорганизама и представља ризик потпуног нестанка микроорганизама ради смањења стопе раста на нивое ниже од времена хидрауличне ретензије. То значи да се термофилни дигестори могу напунити већом количином супстрата или могу да раде с краћим временом хидрауличне ретензије него мезофилни дигестори, јер је стопа раста термофилних организама већа од стопе раста мезофилних врста (слика 3.3.2)



Слика 3.3.2 Релативни раст настанка психрофилних, мезофилних и термофилних метаногена [1]

Вискозитет садржаја унутар дигестора обрнуто је пропорционалан температури. Што су температуре веће супстрат је мањег вискозитета, односно прелази у течно стање, чиме је олакшана дифузија растворених материја. Поступак на термофилним



температурама резултира бржим хемијским реакцијама, а тиме и већом ефикасношћу производње метана, већом топливошћу и мањим вискозитетом.

Већи утрошак енергије при термофилним процесима оправдан је бољим приносом биогаса. Температуру процеса важно је одржати константном јер промене

или варирања температуре негативно утичу на производњу биогаса. Термофилне бактерије су осетљиве на варирања температуре од $\pm 1^{\circ}\text{C}$, те им је потребно дуже времена да се прилагоде новонасталим условима и досегну максималну производњу метана. Мезофилне бактерије мање су осетљиве и подносе колебања температуре од $\pm 3^{\circ}\text{C}$ без знатних сметњи у производњи биогаса.

2. рН вредности и оптимални интервали

Киселост, односно базичност раствора (односно мешавине супстрата - код анаеробне дигестије) изражава се рН вредношћу. рН вредност супстрата утиче на раст и развој метаногених микроорганизама и квалитету одвајања појединих једињења важних за успешност поступка анаеробне дигестије (амонијак, сулфиди и органске киселине). Настанак метана одвија се у релативно уском подручју рН вредности, од отприлике рН 5,5 до 8,5 с оптимумом између 7 и 8 за већину метаногена, док су за ацидогене бактерије, у многим случајевима, оптималне ниже вредности рН -а.

Оптималне рН вредности за мезофилну дигестију су у распону од 6,5 до 8, а до инхибиције процеса долази ако рН вредност падне испод 6 или порасте изнад 8,3. Растворљивост угљен-диоксида у води опада с повећањем температуре, па је рН вредност у термофилним дигесторима већа него у мезофилним дигесторима, будући да растворени угљен-диоксид у реакцији с водом ствара угљеничну киселину.

Амонијак који настаје разградњом протеина из органских материја или због садржаја амонијака унесеног супстратом може узроковати повећање рН вредности, док акумулирање испарљивих масних киселина у супстрату снижава рН вредност.

Унутар анаеробних реактора се рН вредност контролише системом бикарбонатних пуфера. Стога рН вредност унутар ферментатора зависи од парцијалног притиска угљен-диоксида и садржаја базичних и киселих једињења у течној фази супстрата. У случају промене концентрације било киселих било базних једињења, бикарбонатни пуфери спречавају промену рН вредности до одређеног нивоа. Када се капацитет пуферског система исцрпи, долази до драстичних промена рН вредности, што доводи до потпуне инхибиције процеса дигестије. Из овог разлога рН вредност није могуће користити као једини индикатор за праћење процеса, већ се он увек посматра у корелацији с другим параметрима.

3. Испарљиве масне киселине

Испарљиве масне киселине су једињења са 6 или мање атома угљеника (нпр. ацетат, пропионат, бутират и лактат) која настају као међуспојеви током фазе ацидо-



генезе. Стабилност процеса анаеробне дигестије и концентрација насталих међуспојева су повезани.

Нестабилност процеса доводи до акумулације испарљивих масних киселина унутар дигестора, што може довести до пада рН вредности. Акумулација испарљивих масних киселина се неће увек одразити падом рН вредности, због пуферске способности одређених супстрата. На пример, стајски гној има вишак алкалних

материја, што значи да количина испарљивих масних киселина мора бити изнад одређене границе пре него што дође до пада рН вредности. У тим случајевима концентрација киселина у дигестору може бити толико висока да је процес анаеробне дигестије већ у великој мери инхибиран.

Искуство показује да се два различита ферментатора могу понашати потпуно различито код исте концентрације испарљивих масних киселина. Иста концентрација испарљивих масних киселина може бити оптимална у једном дигестору, а истовремено инхибирајућа за процес у другом дигестору. Једно од могућих објашњења може бити да се састав популације микроорганизама разликује у сваком дигестору. Као и код одређивања рН вредности, концентрација испарљивих масних киселина не може се препоручити као засебан индикатор процеса.

4. Амонијак

Амонијак (NH_4) је важна хранљива материја и има значајну функцију у процесу анаеробне дигестије. Амонијак је важна хранљива материја која служи као претходник прехранбеним намирницама и гнојивима, а обично се сусреће као гас, карактеристично одбојног мириса. Главни извор амонијака у процесу анаеробне дигестије су беланчевине.

Превисока концентрација амонијака, посебно у нејонизованом облику, може потпуно зауставити процес дигестије. Овакав случај је карактеристичан за гнојнице из анаеробне дигестије, ради високе концентрације амонијака у урину. Како би се спречио инхибиторни учинак, концентрацију амонијака у смеси супстрата треба одржавати испод 80 mg/l. Метаногене бактерије изузетно су осетљиве на инхибицију амонијаком. Концентрација слободног амонијака директно је пропорционална температури, те је стога ризик инхибиције амонијаком већи код термофилних процеса него код мезофилних. Разлог томе је што је за инхибицију амонијаком одговоран нејонизовани облик амонијака. Слободни амонијак (NH_3) је фракција амонијака која инхибира процес анаеробне разградње. Концентрација слободног амонијака рачуна се из приказане равнотежне једначине:

$$[\text{NH}_3] = \frac{[T - \text{NH}_3]}{\left(1 + \frac{N^+}{ka}\right)}$$

у којој (NH_3) и ($T - \text{NH}_3$) представљају концентрацију слободног и укупну концентрацију амонијака, а (ka) представља константу раздвајања чија вредност расте с повећањем температуре.



5. Елементи у траговима, хранљиве и токсичне материје

Елементи у траговима гвожђе, никл, кобалт, селен, молибден и волфрам важни су елементи за раст и преживљавање анаеробних бактерија једнако као и макронутријенти. Оптималан однос макронутријената угљеника, азота, фосфора и сумпора (C:N:P:S) износи 600:15:5:1.

Недовољан садржај хранљивих материја и елемената у траговима, као и превелика разградивост супстрата, може узроковати инхибицију или нарушавање процеса анаеробне дигестије.

Један од узрочника који може деловати на животни циклус бактерија су токсичне материје које у дигестор доспевају заједно са супстратом или настају током самог поступка дигестије. Тешко је одредити границу токсичности у супстрату (концентрације и врсте токсичних материја), будући да токсична једињења могу настати током хемијских процеса, а анаеробни микроорганизми се у одређеним границама могу адаптирати новонасталим условима [1].

6. Инхибитори

Инхибитори су супстанце које у концентрацијама преко одређене границе негативно делују на процес. При томе, инхибитори могу да доспеју у ферментор заједно са супстратом (антибиотици, дезинфекциона средства, хербициди, соли и тешки метали), или настају као међупродукти фаза у току анаеробне ферментације. Исто тако, важно је да се приликом дозирања супстрата у ферментор обрати пажња, јер превелико дозирање доводи до ремећења стабилности процеса [10].

3.4 Пречишћавање биогаза

С енергетског и економског аспекта, повољно је да се произведе биогаз са што већим уделом метана, јер је он једини гориви састојак значајног запреминског удела (50 до 70 %). Осим тога, за било коју примену неопходно је да се биогаз пречисти, односно да се уклоне непожељни састојци који имају негативан утицај на животну средину или штетни састојци који оштећују делове биогаз постројења.



Слика 3.4.1 Пречишћавање биогаза [10]

Квалитет биогаза до којег се он пречишћава директно утиче на висину трошкова, а потребан квалитет зависи од технологије за енергетску примену (слика 3.4.1) [10].

Вода се одстрањује без обзира на даљу примену биогаза, јер представља сметњу за складиштење у резервоарима под високим притиском. Водоник-сулфид је потребно одстранити у случају примене биогаза у моторима СУС, а смањити садржај у случају примене у гасним котловима. Пошто је одстрањивање водоник-сулфида 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. Угљен-диоксид се издваја из биогаза када је потребно добити гас веће топлотне моћи. Влага се из биогаза издваја на крају линије пречишћавања, јер се у процесу пречишћавања мокрим поступком појављује додатна влага. Одстрањивање влаге се најчешће врши у циклонским и регенеративним хемијским одвајачима са пуњењем силикагела.

Водоник-сулфид 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) или водену запреку. Суви поступак се одвија провођењем биогаза кроз апарат испуњен оксидом гвожђа са којим он формира гвожђе-сулфид. Гвожђе-сулфид се регенерише продувавањем загрејаног ваздуха. Угљен-диоксид се у случају примене мокрог поступка за издвајање водоник-сулфида издваја у истом уређају, јер је и угљен-диоксид растворљив у води. За боље издвајање угљендиоксида уместо обичне користи се кречна вода. У већим биогасним постројењима, где се произведени биогас користи за погон дизел-електричног агрегата, могуће је коришћење Бенфилдовог процеса за истовремено апсорпционо одвајање водоник-сулфида и угљен-диоксида. Као апсорбент у овом процесу користи се калијум-карбонат. Овај поступак се доста примењује за пречишћавање земног гаса, близу бушотине, да водоник-сулфид не би изазвао корозију гасовода [11].



3.5 Радни параметри дигестора

3.5.1 Садржај органске материје у дигестору

Биогасна постројења се граде према економским и технолошким параметрима. За максимални принос биогаса, добијен потпуном дигестијом супстрата, потребно је дуго време хидрауличног задржавања и одговарајућа величина дигестора. У пракси, избор система за дигестију (величина и тип дигестора) темељи се на компромису између максималног приноса биогаса и оправданог улагања у постројење. У том је смислу унос органске материје важан радни параметар, који показује колико суве органске материје може бити унесено у дигестор, по запремини и у јединици времена, што је исказано у следећој једначини:

$$BR = m * c / VR$$

BR	унос органске материје [kg/d*m ³]
m	маса супстрата уношена по јединици времена [kg/d]
c	садржај органске материје [%]
VR	запремина дигестора [m ³]

3.5.2 Време хидрауличног задржавања

Важан параметар за димензионирање дигестора је време хидрауличног задржавања (VHR). Време хидрауличног задржавања је просечни временски интервал задржавања супстрата у дигестору. VHR је у корелацији са запремином (дигестора) (VR) и запремином супстрата (V) унесеног у јединици времена, а може се израчунати према следећој једначини:

$$VHR = VR / V$$

VHR	време хидрауличног задржавања [dan]
VR	запремина дигестора [m ³]
V	запремина супстрата унесеног у јединици времена [m ³ /d]

Према једначини ће повећање запремине унесене органске материје скратити време хидрауличног задржавања. Време задржавања садржаја у дигестору мора бити довољно дуго како би се осигурало да је количина бактерија изнесених обрађеним остатком (дигестатом) мања од новонасталих бактерија (које се налазе у делу супстрата који остаје у дигестору). Уобичајено време потребно за размножавање бактерија је 10 или више дана. Кратко време задржавања у дигестору омогућава прераду веће количине супстрата, али резултира мањим приносом гаса. Стога је неопходно прилагодити време хидрауличног задржавања специфичном степену разградње коришћеног супстрата. Уколико се зна циљано време хидрауличног задржавања, дневни унос супстрата и време потребно за његову разградњу, могуће је израчунати потребну запремину дигестора.



3.5.3 Листа показатеља

Различити параметри могу се користити за процену ефикасности биогасних постројења и поређење различитих биогасних система (табела 3.5.1).

Табела 3.5.1 Радни параметри биогасних постројења

Параметар	Ознака	Јединица	Утврђено мерењем током поступка/прорачуном
Температура	t	°C	Мерење током поступка
Радни притисак	p	mbar	Мерење током поступка
Капацитет, проточност	V	m ³ /d ; t/d	Мерење
Запремина дигестора	V _R	m ³	Одређено конструкцијом
Количина гаса	V po danu, V po god	m ³ /d, m ³ /a	Мерење током поступка и конверзије у Nm ³
Хидраулично време задржавања	HVZ	d	Прорачун из радних података
Пуњење органском материјом		kg oTS /(m ³ * d)	Прорачун из радних података
Концентрација метана у биогасу	CH ₄	%	Мерење током поступка
Специфични принос гаса		%	Прорачун из радних података
Специфична производња биогаса		m ³ / m ³	Прорачун из радних података
Укупна енергија		kWh	Прорачун из количине гаса и концентрације метана
Производња ел. енергије		kWh	Мерење на генератору
Пласман у мрежу		kWh	Мерење на генератору
Ефикасност	η	%	Прорачун из радних података
Снабдевање топлотом/ел. енергијом		kWh	Темељено на планираном, накнадно мерењем током поступка производње
Специфично снабдевање топлотом/ел. енергијом		kWh/m ³ сировине kWh/UG	Прорачун из радних података
Производња енергије		kWh	Сума енергије која може бити искоришћена. Прорачун из радних података
Ефикасност електране	η	%	Искористива енергија добијена од укупне енергије
Доступност		%	Проценат сати у години током којих је електрана радила пуним капацитетом
Искоришћавање		%	Однос стварне количине уноса и пројектованог капацитета
Укупно улагање		€	Укупна инвестиција у биогасно постројење
Субвенције		€	Прописане
Проценат субвенција		%	Проценат свих субвенција у укупном улагању
Специфична улагања		€/m ³ реактор €/UG	/
Специфични трошкови третирања		€/m ³ улазног материјала; €/UG	Прорачун



Најчешће се спомињу 2 категорије показатеља:

- Показатељи који су егзактно измерени током рада постројења уз одређену врсту супстрата методом узорковања
- Показатељи који се заснивају на моделираним подацима

Увек је потребно укључити економске показатеље како би се пратило хоће ли биогасно постројење осигурати повраћај инвестиције у прихватљивом року [1].



4. Когенерација

Когенерација (често се користи и израз комбинована производња топлотне и електричне енергије - на немачком Blockheizkraftwerke, BHKW, односно на енглеском Combined Heat and Power, CHP) представља производњу електричне енергије са истовременим коришћењем отпадне топлоте, која се иначе губи у индустријским процесима. Принципи когенерације познати су већ дуже време, а технологија се побољшава и развија већ годинама. Данас, модерни когенерациони системи постижу ефикасност и до 90%. Когенерација нуди велику флексибилност; најчешће постоји комбинација постројења и горива која задовољава већину индивидуалних захтева. Уколико је у процес укључено и расхлађивање, у питању је тригенерација [13].

Као гориво може се користити природни плин, биомаса, дрвна грађа или водоник (у случају горивних ћелија), а избор технологије за когенерацију зависи од расположивости и цене горива. Ефикасност когенерације износи од 70-85% (од 27-45% електричне енергије и од 40-50% топлотне енергије), за разлику од конвенционалних електрана где је укупна ефикасност од 30-51% (електричне енергије) [14].

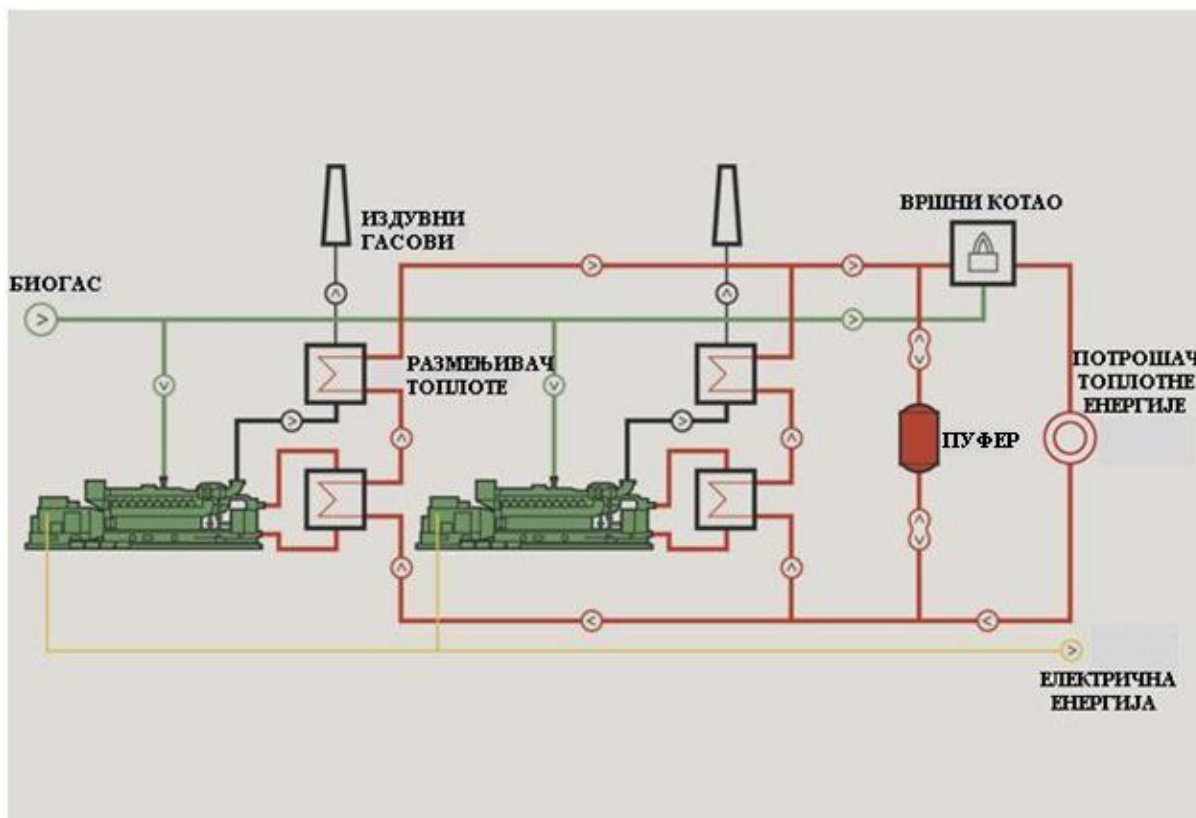
Когенерација користи отпадну топлоту, која увек настаје приликом добијања електричне енергије, чиме се спречава њено испуштање у атмосферу. Приликом конвенционалних начина добијања електричне енергије, готово две трећине енергетског улаза се губи на овај начин. Когенерација може да искористи већину те (иначе бачене) топлотне енергије, чиме се добија знатно боља искоришћеност горива и значајне уштеде, што све резултира у енергетској уштеди од 20 до 40% [13].

CHP постројење хвата одбачену топлоту и тиме омогућава већу искористивост од око 70%. То значи да се мање горива мора потрошити за исти износ корисне енергије. CHP је ефикаснији ако је место потрошње ближе месту производње, док му корисност пада са удаљеношћу потрошача. Удаљеност значи да му требају добро изолиране цеви, што је скупо, док се струја може транспортовати на далеко већу удаљеност за исте губитке. Когенерацијске електране се могу наћи у подручјима са централним грејањем или у великим градовима, болницама, рафинеријама [14].

4.1 Когенерациони модул

Когенерациони модул (слика 4.1.1) је енергетска јединица која истовремено производи електричну и топлотну енергију, а састоји се од следећих главних делова:

- » гасни Ото мотор са унутрашњим сагоревањем,
- » генератор наизменичне струје,
- » измењивач топлоте за расхладну воду мотора, уље за подмазивање, гасне смеше и издувних гасова,
- » разводни, управљачки и енергетски ормани са аутоматиком за синхронизацију и паралелан рад са нисконапонском електричном мрежом [13].



Слика 4.1.1 Когенерациони модул [15]

Топлота која се добија хлађењем мотора, уља за подмазивање, гасне смеше и издувних гасова користи се за грејање пословних објеката или технолошке потребе. Најчешће ова топлота се одводи секундарним кругом воде 90/70 °C. Могући су и други температурни нивои, подешени према конкретним потребама као и производња паре, топлог ваздуха или расхладне енергије преко апсорпционих расхладних машина.

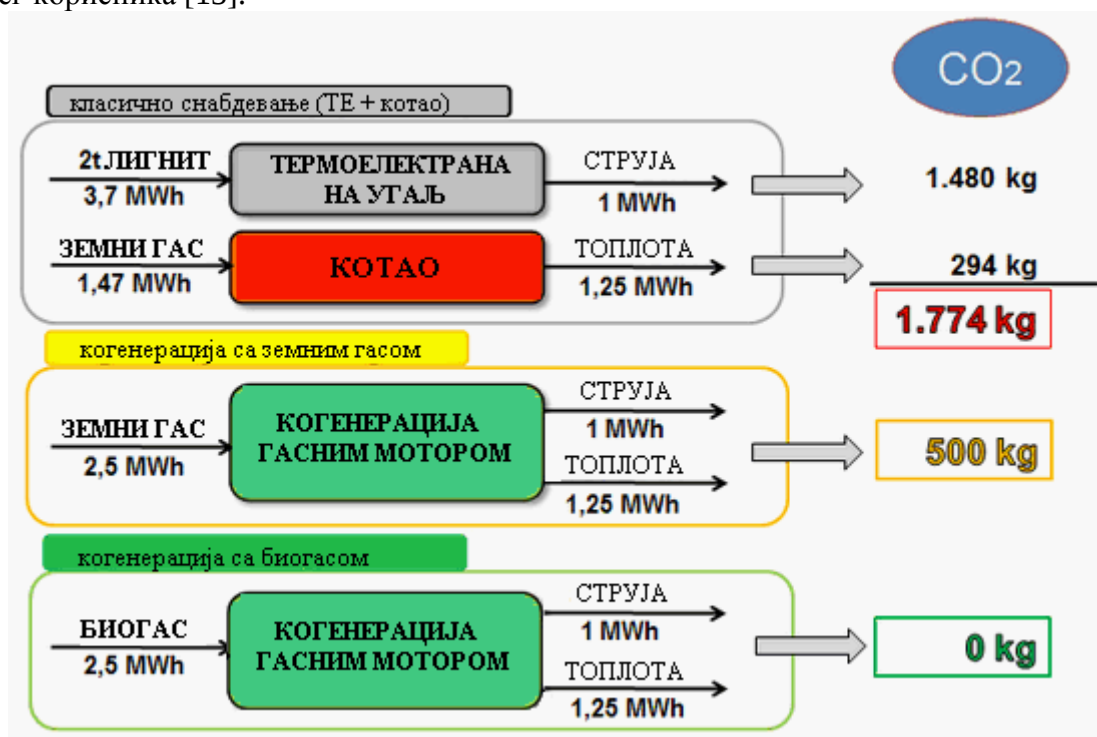
Произведена електрична енергија се предаје нисконапонској мрежи (0,4 kW) за напајање властитих потрошача чиме се повећава инсталисана снага објекта уз постојећу трафо станицу. Модули обезбеђују сигуран напон и фреквенцију, трајно напајање струјом у доба више тарифе, смањење издатака за „максиграф“ и нужно напајање у случају нестанка електродистрибуционе мреже. Друга, економски занимљивија могућност, је предавање (продавање) целокупне количине произведене струје електродистрибуционој мрежи по повлашћеној цени, и куповина потребне количине струје по стандардној цени [13].

4.2 Поређење технологија

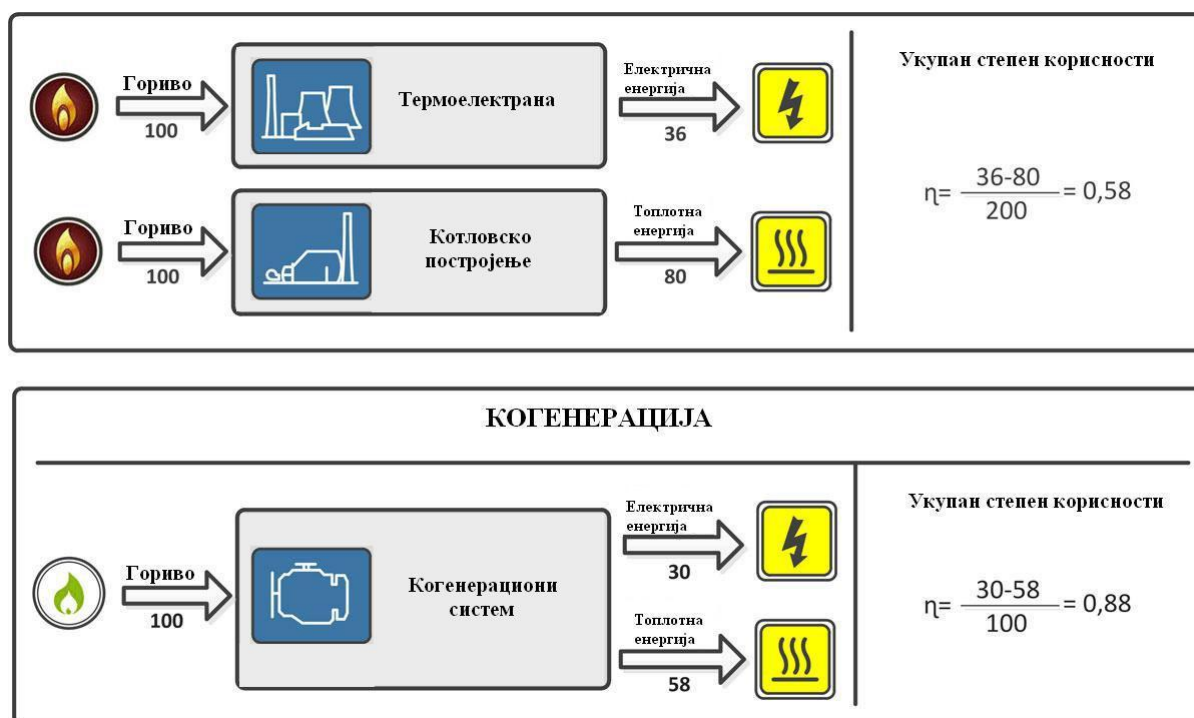
Ефикасност когенерације одређује се поређењем са референтним системом за појединачну производњу електричне и топлотне енергије (слика 4.2.1a). Референтни систем је постојећи систем одвојене производње електричне енергије у електрани на угаљ (лигнит) и топлотне енергије из котлова на земни гас, умањујући ефикасност



производње (слика 4.2.16) за висину губитака у преносној и дистрибутивној мрежи до крајњег корисника [13].



Слика 4.2.1а Поређење производње угљен-диоксида из класичне и из когенерацијске производње ел. енергије [13]



Слика 4.2.1б Поређење ефикасности технологија за добијање топлотне и ел. енергије [16]



4.3 Гасни мотори

4.3.1 Когенеративно постројење са мотором СУС

На биогаз постројењима се најчешће примењује когенерација коришћењем мотора са унутрашњим сагоревањем (СУС мотори), јер имају висок степен корисности и нижа инвестициона улагања.

Раније се сматрало да се у моторима СУС 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 СУС 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 °С. Топла вода може да се употреби за грејање дигестора или оближњих радних или стамбених просторија. Температуре продуката сагоревања су 460 до 550 °С, 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 СУС, да не би дошло до прегревања [10].

4.3.2 Когенеративно постројење са ото моторима

Гасни Ото мотори специјално су развијени за коришћење биогаза. Раде са високим коефицијентом вишка ваздуха да би се смањиле емисије непожељних продуката. Подешени су да раде са минималним запреминским уделом метана у биогазу од 45 %. Уколико удео метана падне испод ове вредности аутоматски се искључују. Уколико нема биогаза на располагању, ови мотори могу да користе друге врсте гасовитих горива, на пример, природни гас. Природни гас користи се као гориво и за пуштање постројења у рад. Карактеристике и специфичности гасних Ото мотора приказане су у таб. 4.3.2 [10].

Табела 4.3.2 Карактеристике гасних Ото мотора [10]

Аспект	Опис
Основни параметри	• снага достиже и преко 1 MWe; • радни век је 60.000 h у погону; • примењиви за удео метана већи од 45 %.
Примена	• могуће на свим, али исплативо за већа биогаз постројења.
Предности	• специјално конструисани за коришћење биогаза; • емисије испод граничних вредности;

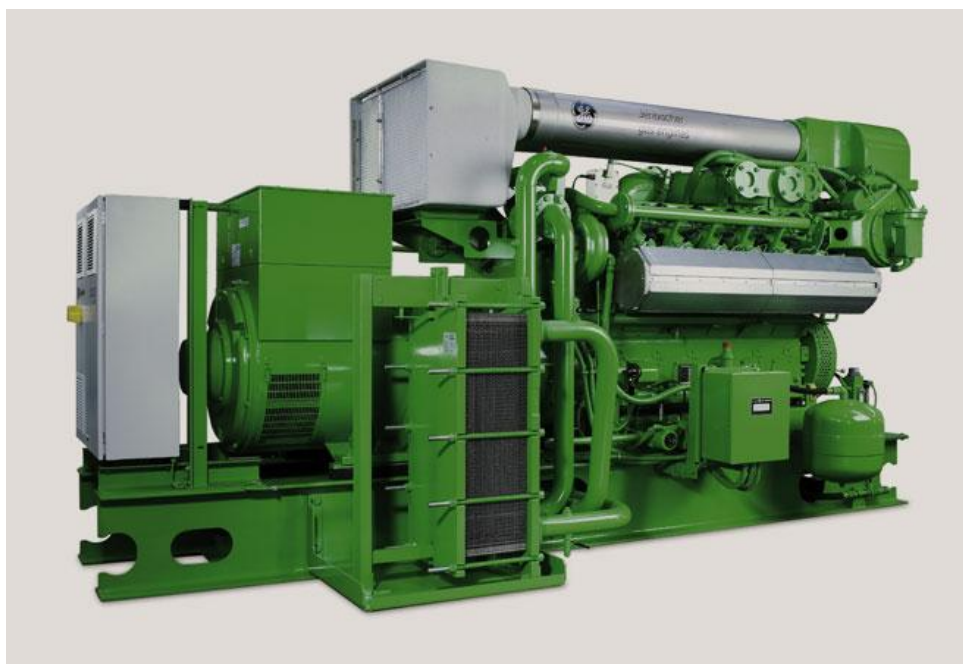


	• мања потреба за одржавањем; • укупни степен корисности је већи, него за дизел моторе с иницијалним паљењем.
Недостаци	• виши инвестициони трошкови, него за дизел моторе с иницијалним паљењем; • за мање снаге имају ниже електричне степене корисности него дизел моторе с иницијалним паљењем
Израда	• као агрегати у когенерацији или у контејнерском извођењу.

Карактеристике једног класичног гасног Ото мотора (слика 4.3.2.1) компаније „Jenbacher“ који ради на биогаз су приказане у даљем тексту [17]:

Ознака мотора J420 GS
 Примена код дигестора
 који користе отпадну воду као супстрат;
 Локација Когел, Немачка
 Гориво. Биогаз
 Врста мотора 1 x JMC 420 GS-B.L

Производња струје 1,413 kW
 Производња топлоте. 751 kW
 Производња паре . . 1,037 kg/h на 3 бара
 или 698 kW на излазу
 Пуштен у рад Октобар 2003



Слика 4.3.2.1 „Jenbacher“_ов гасни мотор за когенерацијску производњу [17]



5. Дигестори

Дигестори представљају херметичке резервоаре-ферменторе, у којима се обезбеђују оптимални услови за процес анаеробне ферментације. Могу да се класификују према погонским условима у којима раде или према начину извођења (табела 5.1).

Табела 5.1 Класификација анаеробних дигестора [10]

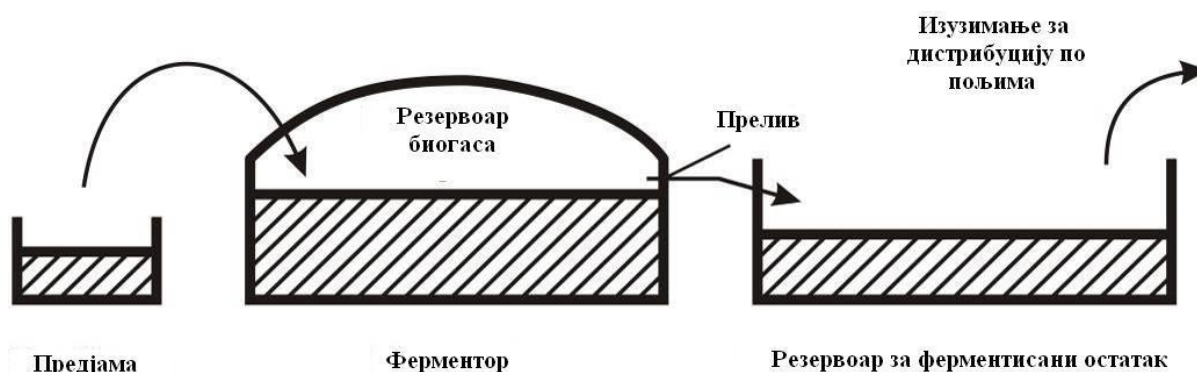
1. Према погонским условима	
Број степени процеса	- једностепени - двостепени - вишестепени
Процесна температура	- психрофилни - мезофилни - термофилни
Садржај суве материје у супстрату	- мокра ферментација - сува ферментација
Начин дозирања супстрата	- Шаржни - Полуконтинуални - Континуални
2. према начину извођења	
Облик	- Цилиндрични - Правоугаони
Материјал	- Бетонски - Челични
Оријентација	- Хоризонтални - Вертикални

Ако се све четири фазе анаеробне ферментације одвијају у једном дигестору, онда је биогаз постројење једностепено. Ако се у првом дигестору одвијају хидролиза и киселинска фаза, а друге фазе су просторно раздвојене и одвијају се у наредном дигестору, онда је биогаз постројење двостепено. На тај начин боље се подешавају услови за одређене групе бактерија и постиже се већа разградивост супстрата. Дигестори се најчешће налазе у редној вези (супстрат након одређеног времена задржавања у првом ферментору прелази у наредни, где се наставља процес ферментације), а могу да буду и у паралелној.

Највећи број постројења која су у погону раде у мезофилном режиму, а постројења са термофилним режимом рада најчешће садрже и један дигестор са мезофилним режимом. Класификацију на мокру и суву ферментацију одређује садржај суве масе супстрата. Мокра ферментација се примењује када супстрат може да се транспортује пумпама, а садржај суве масе износи максимално 20 %. Дигестори са мокром ферментацијом раде у континуалном погону, а типични супстрати који се тада користе су чврсти и течни стајњак, енергетске биљке и отпад из прехранбене индустрије. Сува ферментација се примењује када је садржај суве масе у супстрату изнад 35 %, а тада се користе дигестори са шаржним пуњењем и пражњењем.



Начин дозирања супстрата у великој мери утиче на процес анаеробне ферментације. Шаржни дигестор се у потпуности испуњава свежим супстратима, који се у њему задржавају до завршетка процеса ферментације. Након тога, уклања се практично целокупна маса остатка ферментације, осим минималне количине која служи за инокулацију (садржи анаеробне бактерије за следеће пуњење). Велики недостатак јесте временски неуједначена продукција и квалитет биогаза и отежано пражњење дигестора. Већина биогаз постројења имају континуални тип дигестора, у које се супстрат дозира више пута у току дана (из предјама за стајњак или дозатора за чврсте супstrate). Иста количина која се уноси у дигестор и излази из њега, а то се најчешће обезбеђује испуњењем супстрата у дигестору до преливног нивоа (сл. 1.). Континуални дигестор празни се једино приликом спровођења поправки. У овим дигесторима постижу се уједначена продукција и квалитет биогаза [10].



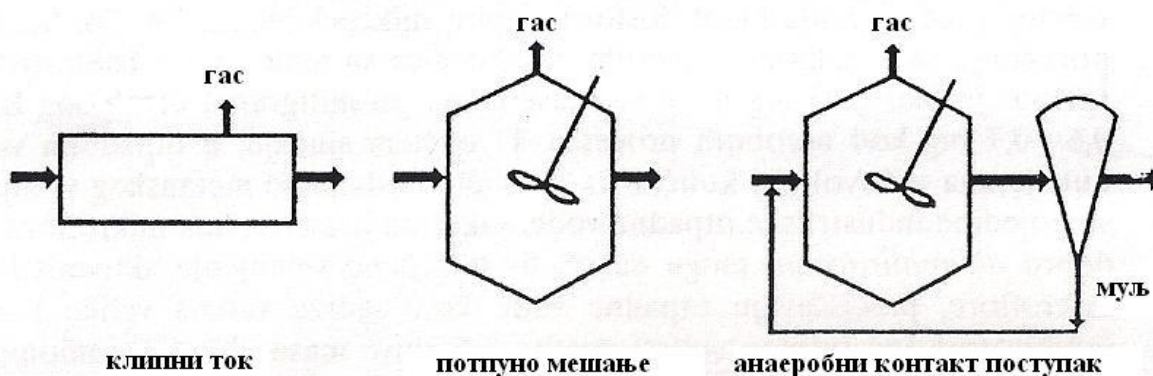
Слика 5.1 Биогаз са континуалним дозирањем супстрата [10]

Друга подела дигестора је на дигесторе прве и на дигесторе друге генерације.

5.1 Дигестори прве генерације

Типови дигестора тзв. прве генерације су најраније развијени и то су, још увек, највише заступљени анаеробни реактори. Поједностављене шеме дате су на слици 5.1.1.

Дигестор са клипним током. Најједноставнији по изведби, овај дигестор је погодан за пречишћавање отпадних вода са изузетно великом концентрацијом суспендованих честица (на пример, течни стајњаци) и великом концентрацијом органског загађења. Због једноставне конструкције, лаког одржавања и надзора, а самим тим и мале цене, погодан је за мале капацитете. Овај тип дигестора се обично прави од природног материјала. Дигестор је обично укопан у земљу због мањих грађевинских трошкова и боље термоизолације, јер у правилу ради на амбијенталним температурама. Карактеришу га мала хидрауличка и органска оптерећења (време задржавања 20 и више дана) и релативно слаб ефекат пречишћавања, једном речју - мала ефикасност [18].



Слика 5.1.1 Поједностављене шеме дигестора прве генерације [18]

Дигестор са потпуним мешањем. Дигестор са потпуним мешањем, без рецикулације анаеробне микрофлоре, својевремено развијен за анаеробну стабилизацију примарног и активног муља (и зато, за сада, најбоље технички решен тип анаеробног реактора), примењује се за обраду отпадних вода са великом концентрацијом суспендованих честица. Због мале брзине раста метаногених бактерија, ефикасно пречишћавање се могло остварити само код дужих времена задржавања (минимум 8 - 10, а обично 15 - 20 дана), односно мањих хидрауличких оптерећења, што има за последицу велике, инвестиционо скупе дигесторе. Међутим, ово је за сада највише заступљен тип дигестора, са веома бројним конструкционим решењима.

Анаеробни контакт поступак. Ограничења дигестора са потпуним мешањем у погледу времена задржавања отпадне воде превазилазе се тзв. анаеробним контакт поступком, који представља комбинацију дигестора са потпуним мешањем и уређаја за сепарацију флокулисане анаеробне микрофлоре, анаеробног муља, од пречишћене отпадне воде. Муљ се рециркулише у дигестор. Раздвајање воде и муља се обично изводи у гравитационом таложнику. Рецикулацијом муља се остварује дуже време задржавања активне микрофлоре у дигестору од хидрауличног времена задржавања отпадне воде, чиме се постиже већа ефикасност пречишћавања за краће време задржавања (за већа хидрауличка оптерећења), тј. дигестор може бити мањи, а рад економичнији. Ефикасност рада по контакт поступку у одлучујућој мери зависи од ефикасности таложника. Сепарација муља може да буде отежана, нарочито у случају пречишћавања отпадних вода са малом концентрацијом суспендованих честица када се често ствара диспергован или сасвим слабо флокулисан муљ. То има за последицу потребу за већим и сложенијим таложницима и/или примену већих рецикулационих односа; самим тим и уградњу већих, неекономичнијих дигестора; односно имаће за последицу мање хидраулично време задржавања у постојећим дигесторима и мању ефикасност процеса пречишћавања [18].



5.2 Дигестори друге генерације

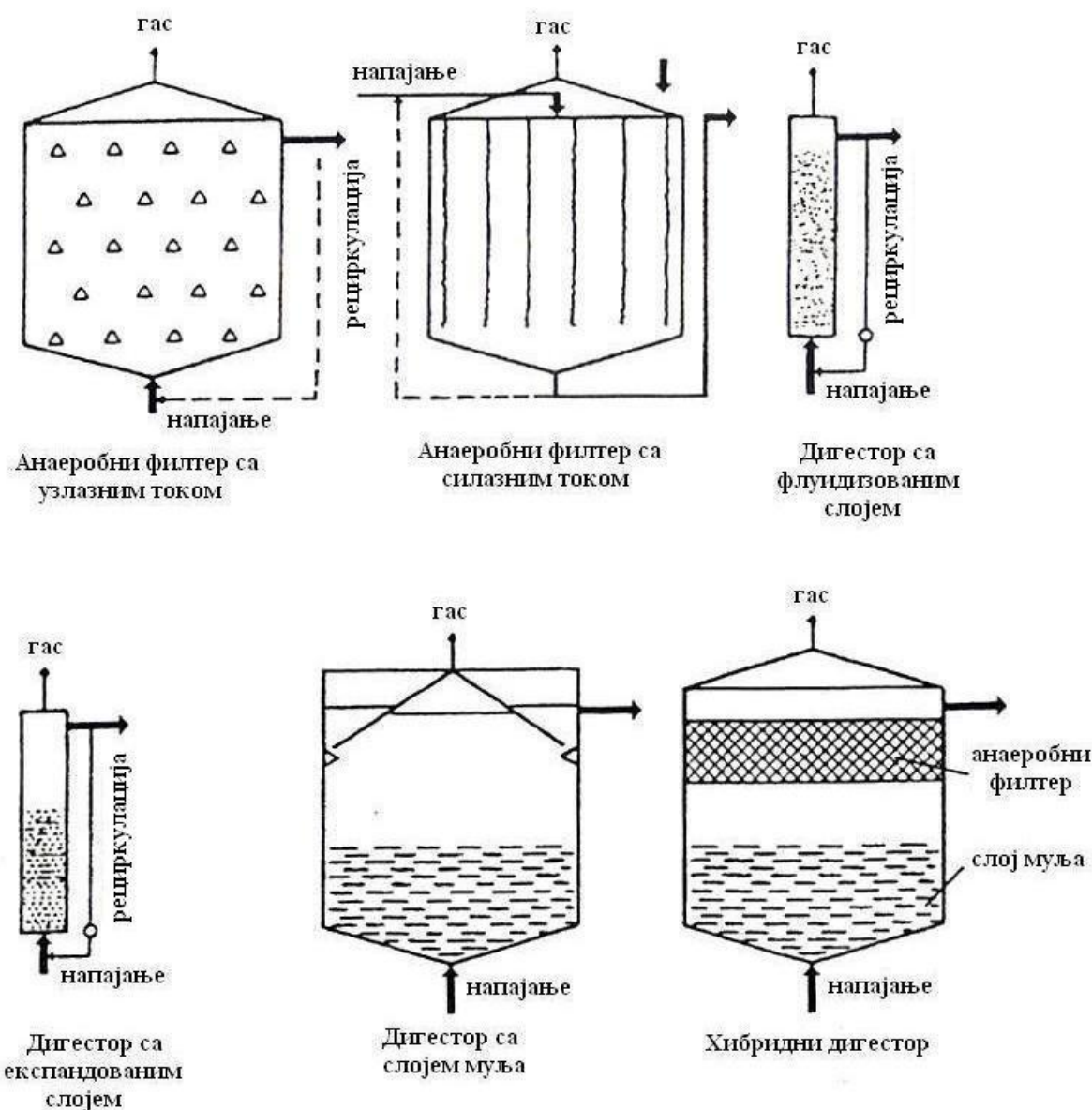
Анаеробни поступци прве генерације показали су се неефикасним у обради слабо и средње загађених отпадних вода са малом концентрацијом суспендованих материја (каква је комунална отпадна вода као и значајан број индустријских отпадних вода). За анаеробно пречишћавање таквих отпадних вода развијен је низ нових поступака, односно типова дигестора, тзв. друге генерације (шематски приказаних на сл. 5.2.1). Општа одлика ових дигестора је остваривање веома дугог времена задржавања (50 до 100 дана), самим тим и велике концентрације микрофлоре унутар дигестора. То се после различитим техникама које се заснивају на особини бактерија да се причврсте на површини погодног носача (дигестори са имобилисаним слојем) или да флокулишу (дигестори са слојем муља). Велика концентрација анаеробне микрофлоре у дигестору омогућава да се слабо и средње загађене отпадне воде са успехом пречишћавају и на температурама нижим од (оптималне мезофилне) 35 ± 2 °C, односно на амбијенталним температурама.

Анаеробни филтар. Од свих поступака друге генерације највише заступљен у пракси је тзв. анаеробни филтар. Као непокретни чврсти инертни носач имобилисаног биофилма анаеробне микрофлоре користе се најразноврснији материјали (камен, керамика, дрво, стакло), а у последње време највише пластични материјали који омогућују прављење модула носача са правилним (оријентисаним) шупљинама (каналима) и великом специфичном површином. Разликујемо анаеробне филтре са узлазним током који обично користе неоријентисани носач, на пример шљунак, и филтре са силазним током, у правилу са оријентисаним носачем (сл. 5.2.1). Основна карактеристика свих анаеробних филтара је да подносе велика хидрауличка оптерећења, као и велике варијације хидрауличног оптерећења. Од свих поступака друге генерације анаеробни филтри су најосетљивији на повећану концентрацију суспендованих материја у води. тј. подложни су загушењу носача. Рецикулација ефлуента, којом се у првом реду амортизују хидрауличка и органска преоптерећења, се ређе примењује код анаеробних филтара.

Дигестори са експандованим или флуидизованим слојем. Потреба да се превладају главна ограничења анаеробних филтара: појаве запушавања међупростора и канала у непокретном слоју носача и дифузиона ограничења у дебљем имобилисаном биофилму, због ограничене специфичне површине носача, довела је до развоја поступака са носачем мале гранулације (односно велике специфичне површине) у експандованом или флуидизованом слоју. У случају експандованог слоја се брзина узлазног тока отпадне воде тако подешава (то се постиже рецикулацијом, видети сл. 5.2.1) да се запремина слоја носача увећа за 10-20%, а приликом флуидизовања се запремина слоја увећа за 100% и више. Као носач имобилисаног биофилма користе се, да би се олакшало флуидизовање, лаки материјали (алуминијум-оксид, поливинилхлорид, јоноизмењивачка смола) или ситне честице тежих материјала (песак, активни угаљ). И поред добрих перформанси, ови поступци су за сада углавном на полуиндустријском нивоу, углавном зато што се релативно тешко контролишу у раду, а проблематично им је поновно започињање рада после намерног заустављања (случајеви периодичног или сезонског рада) или због кварова.



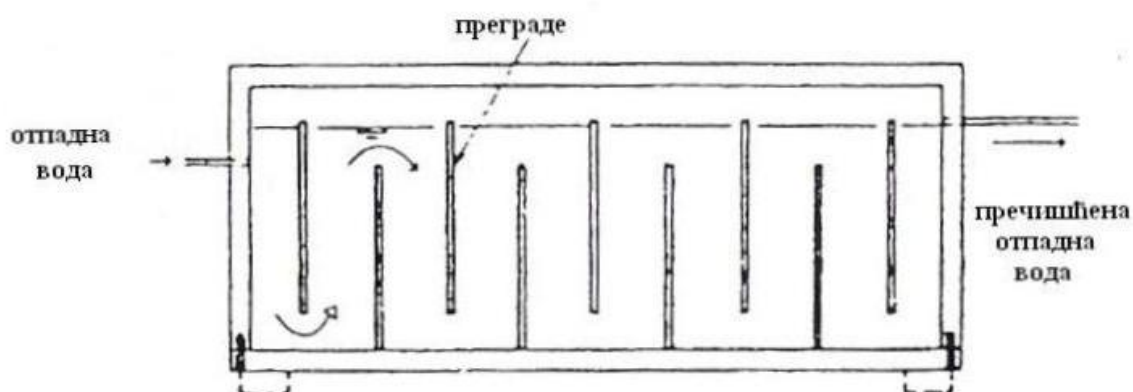
Дигестор са слојем муља. Добре таложне карактеристике анаеробног муља искоришћене су за конципирање оваквог типа дигестора, у коме је накопљање муља (до врло великих концентрација) остварено уграђеним сепаратором на врху дигестора (сл. 5.2.1) у коме се раздвајају биогаз, отпадна вода, и муљ који се задржава у дигестору и тоне ка дну. Овај поступак се сматра најпогоднијим за обраду јако загађених отпадних вода, при чему не смета и нешто повећана концентрација суспендованих честица јер слој муља служи као „филтар” који задржава суспендоване честице. Дигестори са слојем муља су, после анаеробних филтара, највише заступљен поступак друге генерације. У случају великих хидрауличких оптерећења, велика концентрација микрофлоре у дигестору са слојем муља се може одржати додатком спољашњег таложника са рецикулацијом или комбиновањем дигестора са слојем муља и анаеробног филтра уграђеног у горњу трећину дигестора који задржава анаеробни муљ - тзв. хибридни дигестор, сл. 5.2.1.



Слика 5.2.1 Поједностављене шеме дигестора друге генерације [18]



Остали поступци. Сем наведених, и највише заступљених поступака анаеробног пречишћавања, појављују се, за сада углавном у експерименталној фази, и други поступци. Од њих свакако највећу пажњу заслужује анаеробни биодиск, чија је концепција заснована на аеробном биодиск филтру, с тим што су дискови смештени у затворено кућиште у коме су накопљањем биогаса обезбеђени анаеробни услови. Потенцијално ефикасно решење може бити и анаеробни реактор са преградама (слика 5.2.2), који представља модификацију реактора са слојем муља [18].



Слика 5.2.2 Анаеробни реактор са преградама [18]



6. Управљање радом дигестора

Класични или једностепени анаеробни дигестор је приказан на слици 6.1. У овом дигестору постоји вертикална стратификација, где се могу разликовати следећи слојеви, од врха до дна:

- Слој шљама се састоји од био-неразградивог и споро биоразградивог материјала (као што су лишће, коса, крпе, пластика, итд), који плута на врху течне фазе. Када је температура веома ниска, овај слој може постати тежак и може ометати ослобођавање произведеног биогаза.
- Слој супернатанта од течне фазе са релативно ниском концентрацијом чврстих материја који је настао као резултат седиментације процеса.
- Зона активне дигестије, део анаеробног дигестора где се одвија стварна конверзија органске материје у биогаз.
- Зона стабилизованог муља: део дигестора у којем се дигестовани муљ акумулира, и одакле се одлаже на даљи третман или коначно одлагање.

Може се приметити да дигестор обавља две функције истовремено: стабилизација муља од анаеробне дигестије и сепарација „сварених“ чврстих честица из супернатанта који је значајно ослобођен од суспендованих материја. У пракси дигестор неће бити веома ефикасан, зато што се две функције одвијају у истом реактору, док су оптимални услови за оба процеса веома различити: за ефикасну дигестију интензивно мешање је веома важно, да осигура добро мешање између анаеробне биомасе и вишка муља. Мешање може повећати рецикулацијом произведеног биогаза, или механичким мешалицама. Насупрот томе, услов за ефикасно таложење је мирна средина [19].

Како дигестор није веома ефикасан, било у фази дигестије, било у фази издвајања, велика запремина је потребна за добијање правилно стабилизованог муља. Дуго време задржавања надокнађује инхерентну-својствену неефикасност ниско-стопног процеса дигестије. Педесетих година двадесетог века, развијени су високо-стопни анаеробни дигестори у којима је целокупна запремина ефикасно употребљена за дигестију, а фаза сепарације се одвијала у посебној јединици специјално конструисаној у те сврхе. Најчешће се та друга јединица конструираше као секундарни дигестор, „од два у низу“, али овај назив није одговарајући, јер ће се две фазе анаеробне дигестије (ферментација киселине и ферментација метана) одвијати углавном у првом дигестору, са могућношћу неке активности у другом дигестору.

Осим фазе одвајања, секундарни дигестор обавља другу функцију као резервоар за дигестовани муљ.

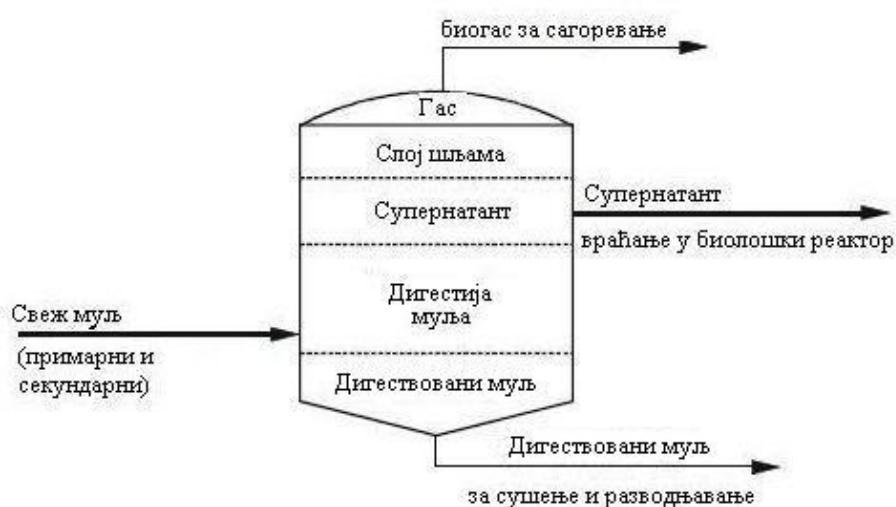
Акумулирани муљ богат метаном може да се рециркулише у примарни дигестор, када је то одговарајуће, на пример када има знакова непосредног окисељавања. Поред тога, секундарни дигестор може да се користи као једини дигестор, када се на примарном дигестору врше операције одржавања. На тај начин присуство секундарног



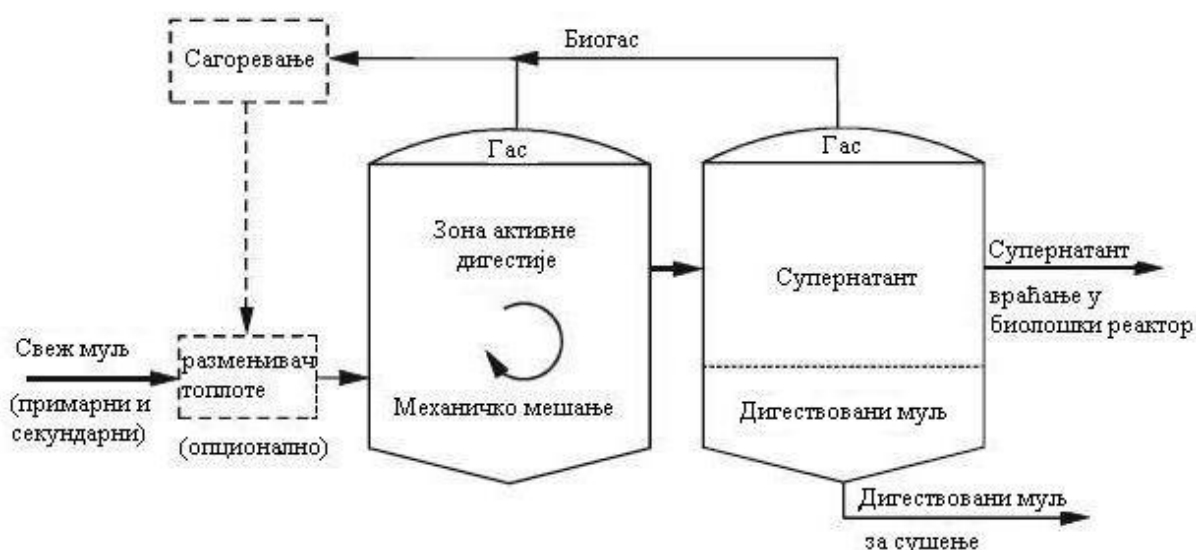
дигестора побољшава флексибилност и оперативну стабилност процеса анаеробне дигестије вишка муља. Међутим, чак и у секундарном дигестору, ефикасност

раздвајања на течност – чврсто неће бити на задовољавајућем нивоу, зато што дигестивани муљ тежи да плута због адсорпције флокула до мехурића биогаза који се подижу на површину течности, и зато често значајан део чврстих материја у дигестиваном муљу може имати лоше таложне карактеристике.

Рециклажа супернатанта са високом концентрацијом суспендованих материја и других материјала (нутријената) представља додатни терет за муљ у аерационом резервоару. Због овог разлога, постоји тенденција замене секундарног дигестора специфичним сепаратором течности. Пошто се може претпоставити да ће раздвајање фаза у таквој јединици бити боље него у секундарном дигестору, може се очекивати да рециклажа супернатанта неће правити проблема [19].



Слика 6.1 Једностепени анаеробни дигестор са слојем муља [19]



Слика 6.2 Двостепени анаеробни дигестор са слојем муља [19]



6.1 Основне конфигурације једноступеног и двоступеног анаеробног дигестора

Перформансе двоступеног дигестора (слика 6.2) могу бити побољшане применом неколико мера:

а) континуално дозирање

Континуирано или полу-континуирано увођење вишка муља фаворизује стабилан рад дигестора. Испрекидано довођење, једном дневно или ређе, доводи до велике промене у саставу и концентрацији супстрата, и може резултирати кисељењем.

б) мешање садржаја у примарном дигестору

Мешање фаворизује хомогену композицију мешовите течности у дигестору и побољшава контакт између анаеробне биомасе и вишка муља који треба да се дигестује. Поред тога, могућа токсична једињења се брзо разблаже кроз целу запремину дигестора, смањујући могућност нарушавања равнотеже ферментације.

Поред тога, формирање слоја шљама је избегнуто, чиме се спречава опасност од настанка озбиљних оперативних проблема. Уобичајене методе за мешање су:

- Пумпање мешовите течности са спољном пумпом, често у комбинацији са спољним размењивачем топлоте,
- Унутрашње механичко мешање мешалицом,
- Мешање рециркулисањем произведеног биогаза.

в) згушњавање и рециклажа дигестованог муља

Tarp и Melbinger (1967) су показали велике предности рециклирања дигестованог муља и његовог мешања са вишком муља. Мешавина може садржати много већу концентрацију чврсте материје, него што би вишак муља имао сам. Постоји горња граница за концентрацију суспендованих материја у дигестору: при концентрацији од 8 до 10 % суспендоване материје, мешање садржаја у дигестору постаје тешко због високе вискозности мешовите течности. Осим тога, концентрација минерализованих материјала (амонијак, алкалност) може достићи тако високе вредности, да токсичност постаје проблем, иако су метанске бактерије у стању да се прилагоде веома високој концентрацији амонијака од $2500 \frac{mg}{l}$, што је показао Rinzema, 1989.

г) грејање

Метаболичка активност бактерија у анаеробном процесу дигестије се повећава на максимални ниво на оптималној температури од 35 до 37 °C. Када се примењује грејање анаеробног дигестора, произведени метан се обично користи као гориво. Одлука о томе да ли је грејање дигестора пожељно, зависи претежно од минималне спољашње температуре. Ако она има ниску вредност, значајан пораст у активности муља се може очекивати када се примени грејање, а самим тим и потребна запремина



дигестора ће бити много мања. Са друге стране, опрема потребна за одржавање високе и константне температуре је скупа, и потребна је обучена радна снага за управљање дигестором.

Самим тим, грејање је атрактивно само на ниским температурама, ако је правилан рад без грејања немогућ. У тропским и суптропским областима, спољашња температура околине је, генерално посматрано, довољно висока да се избегне загревање дигестора [19].

6.2 Загревање дигестора

Загревање дигестора је неопходно због одржавања константне температуре, чији је значај приказан у потпоглављу „параметри анаеробне дигестије“. Узроци који утичу на промену температуре у дигестору су: губитак топлоте због сезонских и дневних ниских спољашњих температура, појава температурних зона по висини дигестора, унос свежег супстрата ниже температуре. Због ниских спољашњих температура, дигестор губи топлоту преко зидова око којих с унутрашње стране долази до снижења температуре супстрата. И по висини дигестора јављају се различите температурне зоне, услед кретања топлије масе ка површини. Ова температурна нехомогеност превазилази се правилним распоредом и различитим интензитетом загревања грејних тела у дигестору, али и мешањем супстрата. Свежи супстрат је обично, пре уношења у дигестор, на нижој температури од температуре ферментације, а садржај ферментатора се у одређеној мери хлади његовим уношењем. Циљ је да се температурна одступања од задате температуре ферментације сведу на најмању могућу меру.

Постоји више начина за одржавање задате температуре у дигестору, а користи се отпадна топлотна енергија из когенеративног постројења. У свим случајевима потребно је да се дигестор споља термички изолије (сл. 6.2.1б). Неопходна количина топлотне енергије за загревање дигестора износи највише 25 % од укупно произведене количине, а зависи од материјала и облика дигестора, квалитета изолације. На највећем броју биогас постројења унутрашњост дигестора се загрева помоћу топловодних цеви (сл. 6.2.1а), а свеж супстрат пре уношења предгрева у екстерном размењивачу топлоте (сл. 6.2.2). Ово је истовремено и најефикаснији систем којим се постижу минималне температурне осцилације [10].



слика 6.2.1 а) топоводне цеви у унутрашњости дигестора; б) топлотна изолација од стиропора на бетонском дигестору у фази израде [10]

6.2.1 Размењивач топлоте

Најчешће коришћени метод за загревање муља је загревање помоћу спољашњег размењивача топлоте. Овај тип размењивача служи за загревање примарног и рециркулисаног муља. Муљ се креће кроз металну цев која га одваја од воде која рециркулише, и загрева се помоћу бојлерског система који је смештен изван дигестора. Овакав размењивач топлоте се често запуши због муља који се таложи у унутрашњости цеви. Овакви депозити доводе до смањења количине пренете топлоте. Формирање депозита на цевима размењивача настаје и при нагом смањењу брзина струјања муља. Пример једног размењивача топлоте дат је на слици 6.2.1.1 Да би се спречило зачепљење размењивача топлоте, постављају се сензори температуре и притиска на улазу и излазу [20].



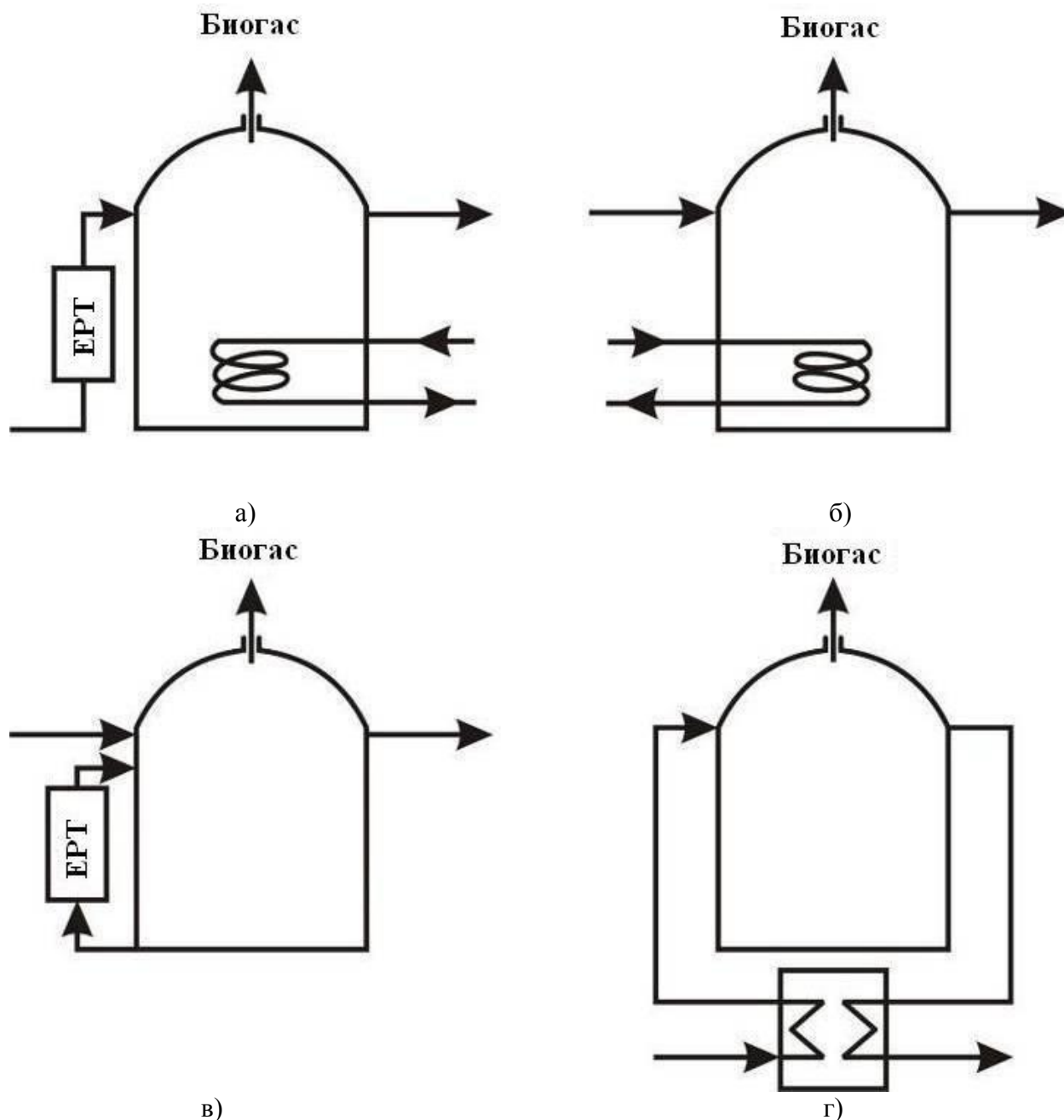
Слика 6.2.1.1 Размењивач топлоте [21]

Основни циљ загревања муља је одржавање температуре константном. Уколико је температура околине врло ниска, оператер може смањити температуру у дигестору,



при чему треба водити рачуна да дневни пад температуре не буде већи од $0.6 - 1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. [20]

Постоје различити начини загревања дигестора размењивачем топлоте (шематски приказано на сл. 6.2.1.2). Ови концепти ређе се срећу у пракси, а међусобно се разликују по томе да ли се и на који начин загревају свежи супстрат и/или унутрашњост дигестора.



слика 6.2.1.2 Шематски приказ могућих начина загревања дигестора:
а) загревање масе у дигестору топоводним цевима + предгревање супстрата у екстерном размењивачу топлоте (ЕРТ); б) загревање масе у дигестору топоводним цевима; в) загревање масе у дигестору у ЕРТ; г) предгревање супстрата у ЕРТ топлотном енергијом остатка ферментације [10]



Познато је да у процесу анаеробне ферментације долази до самозагревања. Због тога, када су у летњим месецима спољашње температуре високе, потребно је некада чак хладити унутрашњост ферментатора. То се постиже протоком хладне воде кроз цевовод у унутрашњости ферментатора, који се иначе користи за грејање [10].

6.2.2 Губици топлоте у дигестору

Губитак топлоте из дигестора зависи од облика и типа дигестора. По питању губитка топлоте, најекономичнији је 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
U	коэффициент преноса топлоте
A	површина дигестора, врх, дно и омотач
T ₂	температура у унутрашњости дигестора
T ₁	температура изван дигестора [20]

6.3 Мешање садржаја дигестора

Мешање садржаја дигестора пасивно се остварује убацивањем свежег супстрата, конвекционим струјањем супстрата и подизањем мехурића од произведеног биогаза. Ово није довољно, па се примењује активно мешање: механичко, хидраулично или пнеуматско. Већина постројења примењује механичко мешање помоћу мешалица. Потопљене пропелерске мешалице (сл. 6.3.1а), чији се електромотори налазе у супстрату, поседују два до три пропелера. Други тип су мешалице са дугачком осовином (сл. 6.3.1б), код којих се електромотор налази изван дигестора, а пропелери су зароњени у супстрат и налазе се на дугачком вратилу. Варијација овог типа мешалица је аксијални мешач, који се поставља централно у односу на базу цилиндричног и вертикалног ферментатора. Трећи тип мешалица су педалне (сл. 6.3.1в), код којих се електромотор, такође, налази изван дигестора [10].



а)



б)



в)

Слика 6.3.1 Типови механичких мешалица: а) потопљена пропелерска; б) са дугачким вратилом; в) педална [10]

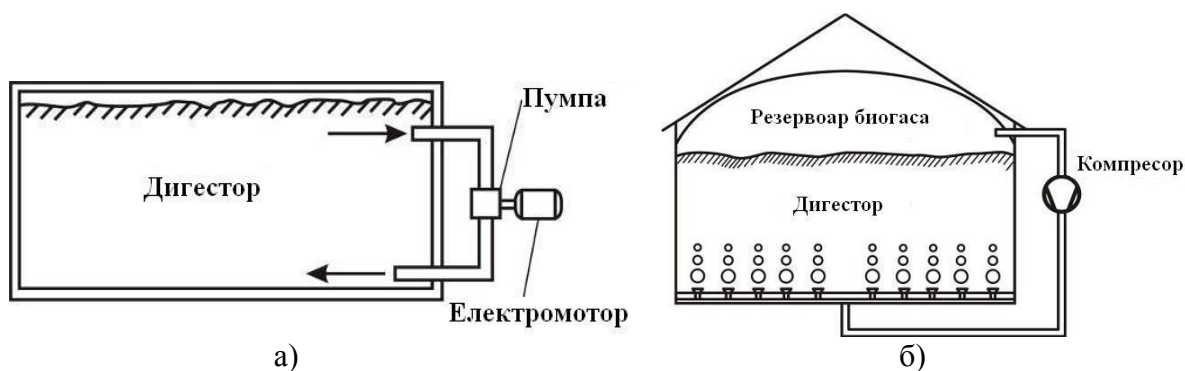
Разлике између представљена три типа механичких мешалица, начин примене, приказани су у табели 6.3.1, а шематски приказ хидрауличног и пнеуматског мешања дат је на сл. 6.3.2.

Табела 6.3.1 Карактеристике механичких мешалица:

Потопљена пропелерска мешалица	
Параметри	- Брзоходне мешалице (300-1.500 °/мин); - Потреба за снагом: 10 kW за 1.000 m³ запремине дигестора, у зависности од вискозности супстрата и геометрије дигестора; - Опсег снаге: 0.25 до 35 kW.
Примена	- за све супstrate у мокрој ферментацији; - већином у вертикалним дигесторима; - мезофилни режим тада.
Предности	добро мешање супстрата по целој запремини дигестора
Недостаци	- велики захтев за снагом и висока потрошња енергије приликом сваког новог покретања, због покретања велике количине масе супстрата у ферментору; - за одржавање неопходно отварање дигестора
Мешалица са дугачким вратилом	
Параметри	средњеходни (100-300 °/мин), континуални погон или у интервалима;



	- потреба за снагом: 10 kW за 1000 m³ запремине дигестора, зависно од вискозности супстрата и геометрије дигестора, у континуалном погону мања потрошња енергије; - опсег снаге: 2 до 30 kW.
Примена	- за све супstrate у мокрој ферментацији ; - само у вертикалним дигесторима.
Предности	- добро мешање супстрата по целој запремини дигестора; - одржавање и поправке изнад дигестора.
Недостаци	- ефикасност мешања је недовољна; - повећана бука од мотора инсталираног споља.
Педална мешалица	
Параметри	- Спороходни, погон у интрвалима; - Израда од нерђајућег челика; - Потребна снага и број обртаја зависе од врсте супстрата.
Примена	- код вертикалних ферментора за супstrate у мокрој ферментацији; - код хоризонталних за супstrate у мокрој или сувој ферментацији;
Предности	добра могућност сервисирања електромотора изван дигестора.
Недостаци	немогућност регулације правца мешања (утиче на ефикасност); за поправку вратила и педала ферментор мора да се испразни.



Слика 6.3.2. Шематски приказ: а) хидрауличног и б) пнеуматског мешања [10]

6.4 Складиштење биогаза

Производња биогаза у току времена често није константна, па је тешко да се ускладе капацитети произведеног биогаза 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 биогаза морају да буду херметички затворени, отпорни на повишену температуру, притисак, УВ-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 биогаза, а препорука је капацитет довољан за једнодневну или дводневну количину произведеног биогаза (Аноним, 2006). Биогаз може да се складишти у резервоарима ниског, средњег или високог притиска. Резервоари са ниским притиском (од свега пар mbar натпритиска) се највише примењују на пољопривредним биогаз постројењима. Израђују се од специјалне фолије (ЕПДМ), која испуњава сигурносне захтеве. Складиштење на ниском притиску изводи се као гасна хауба изнад ферментора, или као ваздушни јастук (сл. 6.4.1а). Ваздушни јастуци могу да се смештају, због заштите од околних утицаја, под надстрешницама или се користи заштитна мембрана. Екстерни резервоари ниског притиска могу да се изведу и у форми балона, а из сигурносних разлога се смештају у зграде где су покривени, или се користи још једна заштитна мембрана [10].



а)



б)

Слика 6.4.1 Резервоари биогаза: а) ваздушни јастук са заштитном мембраном; б) спољашњи изглед резервоара за биогаз у „ЦППОВ Цветојевац“

Резервоари средњег и високог притиска израђују се од челика, а биогаз је на притиску 5 до 250 бара (слика 6.4.1б). Овакав начин складиштења биогаза је скуп и захтеван за одржавање. Потрошња електричне енергије за складиштење до 10 бара је $0,22 \text{ kWh/m}^3$, а за високе притиске 200 до 300 бара је $0,31 \text{ kWh/m}^3$.

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 угљен-диоксид (метан има 23 пута интензивније дејство на ефекат стаклене баште од угљен-диоксида). Пример сигурносне бакље за спаљивање биогаза приказан је на сл. 6.4.2. Напомиње се, да је коришћење сигурносне бакље са енергетског становишта лоше решење, али када је реч о заштити животне средине понекад неопходно [10].



Слика 6.4.2 Бакља за спаљивање вишка биогаса („ЦППОВ Цветојевац“)

6.5 Опис рада

Операције које се одвијају у трулишту-дигестору обухватају пумпање сировог муља, одвод муља, загревање, мешање, скупљање гаса и његово коришћење [20].

6.5.1 Напојна смеша

Напојна смеша се састоји из сировог муља из примарних таложника и активног муља из биоаерационих базена. Напојна смеша се доводи континуално у дигестор да би се избегло ударно оптерећење које може проузроковати промене у количини гаса, рН вредности, алкалитету, расту организама, концентрацији укупних испарљивих материја и другим оперативним параметрима. Велике промене ових параметара доводе до нестабилних услова у дигестору. Уобичајени проблем који се јавља при пумпању сировог муља је зачепљење усиса пумпе услед сувише густог муља. Да би се избегло зачепљење пумпи, потребно је да оне имају барем неколико радних циклуса дневно, и да се редовно прати квалитет напојне смесе.

6.5.2 Оптерећење

Оператори често имају веома мало увид у садржај чврстих материја, које улазе у дигестор. Да би се постигла најбоља равнотежа између муља који стиже у дигестор и муља у дигестору, потребно је придржавати се следећих правила:



- а) Редовно доводити муљ у дигестор и не избацивати вишак воде из дигестора ноћу
- б) Доводити у дигестор највећу могућу концентрацију суве материје
- в) Предвидети добро мешање у дигестору
- г) Избећи превелико оптерећење. Испарљиве материје у укупној дневној шаржи не би смеле да пређу 8% од испарљивих материја које су већ у дигестору
- д) Контролисати одвођење муља из дигестора да би пуферски капацитет остао исти
- ђ) Обезбедити добро уклањање инертних материја на почетку процеса да се не би таложиле у дигестору
- е) Пратити и записивати промене у оптерећењу дигестора

6.5.3 Одвођење муља из дигестора

Посебно је потребно водити рачуна о томе да се не уклони из дигестора исувише велика количина муља. За двостепене дигесторе је потребно распоредити пумпање на период од 24 h. Вишак супернатанта који се враћа назад у процес утиче на акумулацију муља. Да не би дошло до уклањања муља који је тек стигао у дигестор, потребно је да у дигестору буде добро мешање. Одвођење муља из дигестора се обавља са дна дигестора.

6.5.4 Супернатант

Супернатант је течност која је у дигестор унета заједно са сировим муљем и ослобађа се у току процеса. Његов квалитет зависи од ефикасности дигестора, врсте отпадне воде и таложних особина. У супернатанту је обично висок садржај суспендованих материја и амонијум јона. Има јачи мирис од муља и брзо се распада, због чега је неопходан његов третман пре одлагања.

Приликом избацивања супернатанта, избацивање се врши до нивоа муља. За праћење квалитета супернатанта прате се следећи параметри:

- | | |
|-----------------------------|-----------------------|
| – Укупне чврсте материје | 2 пута недељно |
| – Испарљиве чврсте материје | 2 пута недељно |
| – Центрифугирање | недељно |
| – Визуелно испитивање | у свакој радној смени |

Уколико супернатант утиче на квалитет ефлуената предузимају се следећи поступци:

- Сушење на пољима, декантовање
- За наводњавање уколико диспозиција објекта дозвољава
- Посебан третман



Праћење рада пумпи за сирови муљ:

- а) Регистровање вишка воде у сировом муљу пре него што стигне у дигестор
- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| – Укупне чврсте материје | два до три пута недељно |
| – Визуелно испитивање | часовно/дневно |
- б) Прилагођавање капацитета пумпе да би се спречила појава вишка воде
- в) Визуелна провера рада пумпе и пратећих вентила (дневно)
- г) Проверити рад пумпе [20]

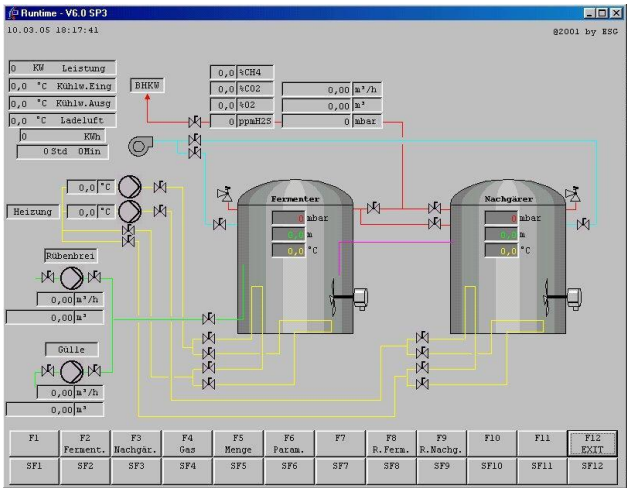
6.6 Контрола и управљање процесом

Поред стручног планирања и пројектовања, на савременим биогаз постројењима практично је обавезно да се обезбеди и сигуран погон биогаз постројења. Кључно је да се обезбеди стабилност процеса анаеробне дигестије (поглавље 3.), што подразумева задовољавајућу количину и квалитет биогаза. То умногоме утиче на финансијске ефекте рада биогаз постројења.

Стабилност процеса анаеробне дигестије постиже се редовним лабораторијским анализама и мерењем параметара процеса. Неки од параметара који се прате су: врста и количина убачених супстрата, процесна температура, рН вредност, количина и састав биогаса, концентрација нижих масних киселина, ниво испуне дигестора (препоручљиво је да се прва четири континуално мере). Чак и када се постигне стабилан процес, неопходно је редовно праћење параметара да се препознају одступања од оптималних вредности. Дефинисањем оптималних вредности параметара за стабилан процес, могуће је да се погон биогас постројења у потпуности аутоматизује. Аутоматизација погона биогас постројења све више се користи и развија. Системи који могу да се примене су једноставни (повремено укључивање електромотора), или веома комплексни (мерење мноштва параметара, управљање рачунаром, потпуна визуализација процеса, могућност контроле с удаљеног места). Већим степеном аутоматизације постижу се бољи ефекти, али је тада висина инвестиције значајно виша. Процеси на биогас постројењу који се управљају су: дозирање супстрата, хигијенизација, грејање и мешање муља, транспорт супстрата кроз фазе ферментације, сепарација чврсте и течне фазе, десумпоризација, рад когенеративног постројења. Праћење параметара дигестије се прати преко командне табле (слика 6.6.1а), а све чешће рачунарским путем (слика 6.6.1б) [10].



а)



б)

Слика 6.6.1 а) Командна табла за праћење параметара дигестије; б) Компјутерско праћење процеса



7. Пројектовање дигестора

Постројење је пројектовано за 125000 ЕС

На улазу у дигестор стиже 25 000 kg/d свежег муља – годишње 9125 t

Муљ има густину од $1012 \frac{kg}{m^3}$ (муљ још увек има велики проценат воде у себи, густине незнатно веће од густине воде).

За производњу биогаса најважнији је органски део муља, који се анаеробном обрадом претвара у биогаз. Уобичајена смањења волатилних сувих материја у дигесторима је од 50 – 60 % [18].

Фракција честица које се преведу у други облик (тј. испаре) је: 55% односно 13750 kg/d

Неоргански остатак: 11 250 kg/d

У дигестор долази 6% муља:

$$\frac{11250 \frac{kg}{dan} \cdot 0,001 \frac{t}{kg}}{0,06 \frac{t}{m^3}} = 187,5 \frac{m^3}{dan}$$

Време хидрауличног задржавања умногоме зависи од температуре, избора мешања супстрата у дигестору, и од тога да ли је примењено предгревање муља. Сви ови параметри у оптималним условима поспешују производњу биогаса, а самим тим и смањују хидраулично време задржавања муља у дигестору.

Дигестор ради у мезофилном режиму, са радном температуром муља од 33 – 38 °C. Примењује се комбиновано мешање, што подразумева механичко мешање, рецикулацију муља и рециркулисање биогаса. За додатно загревање користи се екстерни размењивач топлоте (нарочито у зимском периоду). Унутрашње загревање дигестора се врши топоводним цевима постављеним по ободу дигестора. Унутрашњи зид дигестора је челичне конструкције. Затим следи слој изолације од минералне вуне, који је прекривен пресавијеним челичним лимом.

Потребно време хидрауличног задржавања је 24 дана.

$$187,5 \cdot 24 = 4500 m^3$$

Пошто се користи двостепена дигестија, потребна су два дигестора. Усваја се вредност запремине од 4500 m³, тј. два дигестора од по 2 250 m³.



Запремина једног дигестора облика ваљка је:

$$V = \frac{D^2 \pi \cdot H}{4}$$

Узимајући препоруку да однос висине и пречника треба да буде 3:2, добија се:

$$2250 = \frac{D^2 \pi \cdot \frac{3}{2} D}{4}$$

$$2250 = \frac{4,71 \cdot D^3}{4}$$

$$2250 = 1,1175 \cdot D^3$$

$$D = \sqrt[3]{2013,42}$$

$$D = 12,627 \text{ m}$$

$$H = 18,94 \text{ m}$$

Дно дигестора је конусно, са нагибом страница од 4:1.

Резервоари биогаса се димензионишу тако да имају капацитет довољан за складиштење минимум четвртине дневне производње биогаса, а препорука је капацитет довољан за једнодневну или дводневну количину произведеног биогаса. Усваја се запремина довољна за складиштење дневне количине биогаса. Користећи податак да је годишња производња гаса 80 482,5 m³ (потпоглавље 8.2), добијамо приближну дневну количину произведеног гаса од 220 m³. Резервоар је облика ваљка, са покретном куполом на врху у случају нагомилавања гаса, а висина резервоара је једнака пречнику.

$$V = \frac{D^2 \pi \cdot H}{4}$$

$$220 = \frac{D^2 \cdot 3,14 \cdot D}{4}$$

$$220 = \frac{D^3}{1,27}$$

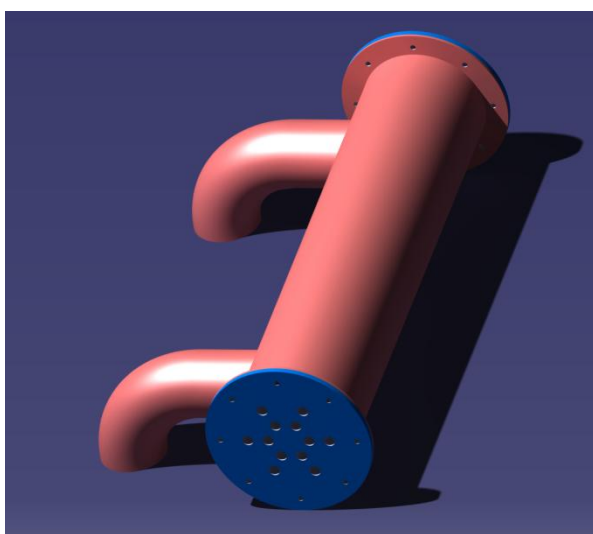
$$D = \sqrt[3]{220 \cdot 1,27} = \sqrt[3]{280} = 6,54 \text{ m}$$

Усвајају се вредности висине од 6,5 m, и пречника од 6,5 m.

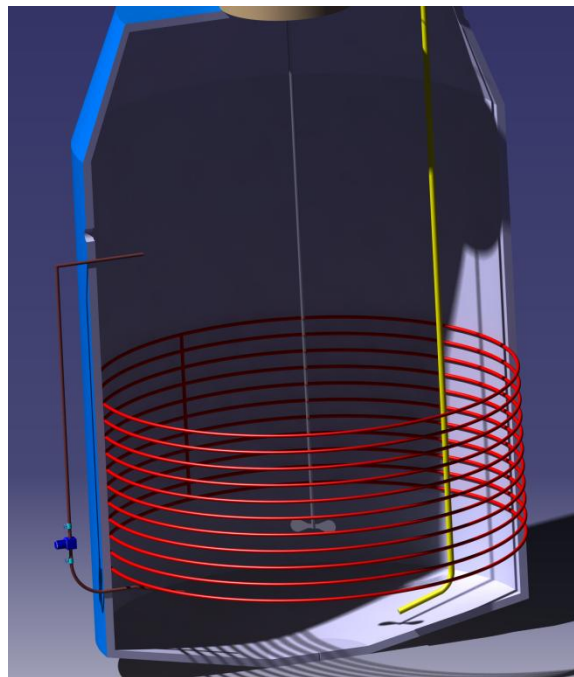


7.1 Склапање 3D модела когенеративног постројења за коришћење биогаза при третману отпадних вода

Муљ који континуално пристиже из таложника је потребно загрејати, што се ради у размењивачу топлоте (Слика 7.1.1а). Потребну топлоту за загревање размењивач узима из гасног котла. Тако загрејан муљ се пумпом подиже на виши ниво, тј. муљ у први дигестор улази при врху.



а)



б)

Слика 7.1.1 а) Размењивач топлоте; б) полу-пресек дигестора

Да би време задржавања муља било што краће, као и да би се повећала производња гаса примењују се следеће мере:

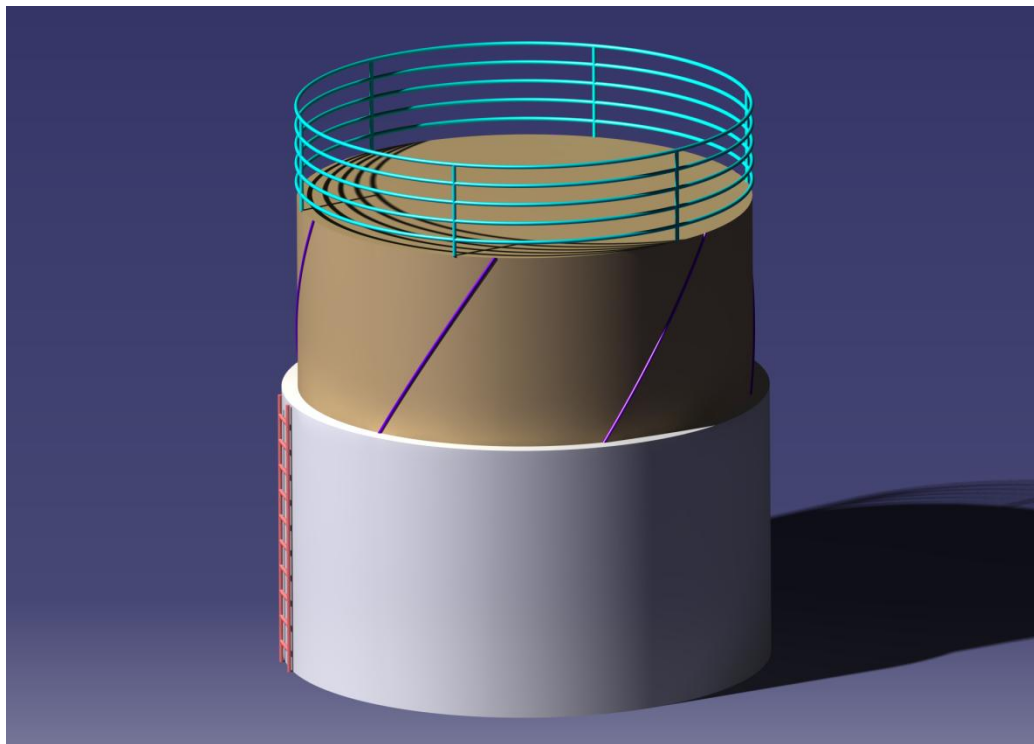
- Загревање муља цевима (постављеним по ободу дигестора)
- Мешање муља
- Рецикулација муља
- Рецикулација гаса

У дигесторима се муљ задржава 25 дана.

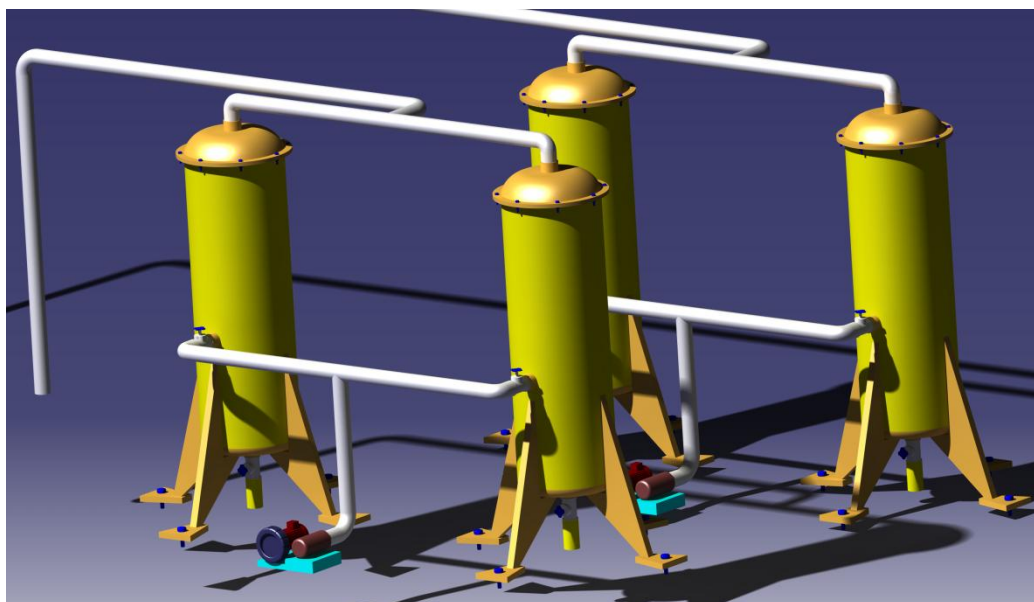
Муљ из примарног дигестора након обраде прелази у секундарни дигестор, где се произведе највећа количина биогаза. Биогаз произведен анаеробном дигестијом из оба дигестора се цевима спроводи до резервоара за биогаз (слика 7.1.2).



Произведен биогаз садржи нечистоће, као и велики проценат угљен-диоксида, па је потребно извршити његово пречишћавање (слика 3.1.3). За избор пречишћавања биогаза изабрано је техничко решење са Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, за потребе ЈКП „Водовод и канализација“ града Крагујевца [24].



Слика 7.1.2 Резервоар биогаза

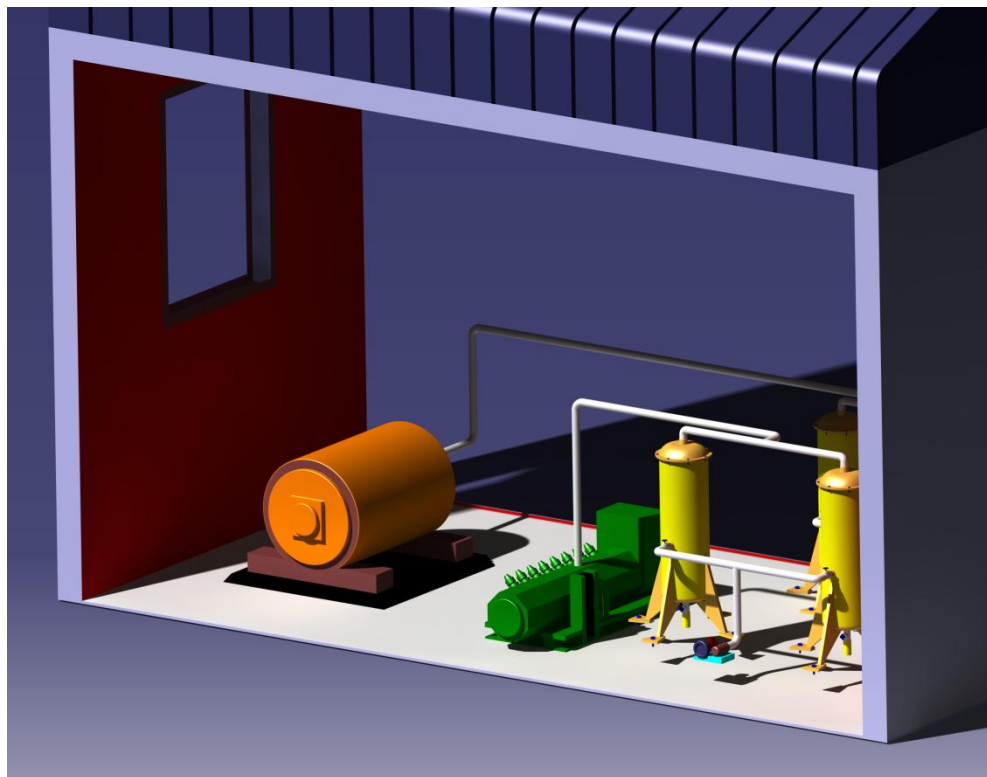


Слика 7.1.3 Пречишћавање гаса

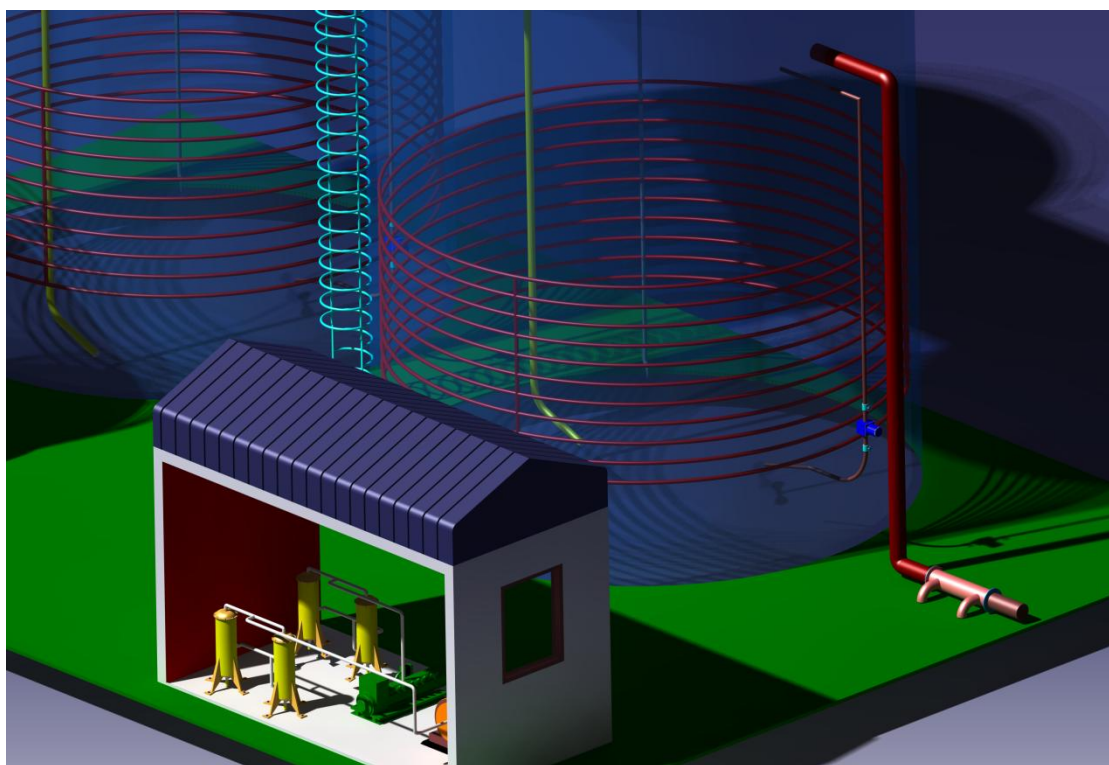
Пречишћени гас у највећој мери користи когенерациони мотор за производњу електричне енергије, која се продаје електродистрибутивном систему по повлашћеној – субвенционисаној цени. Мању количину гаса користи гасни котао за производњу



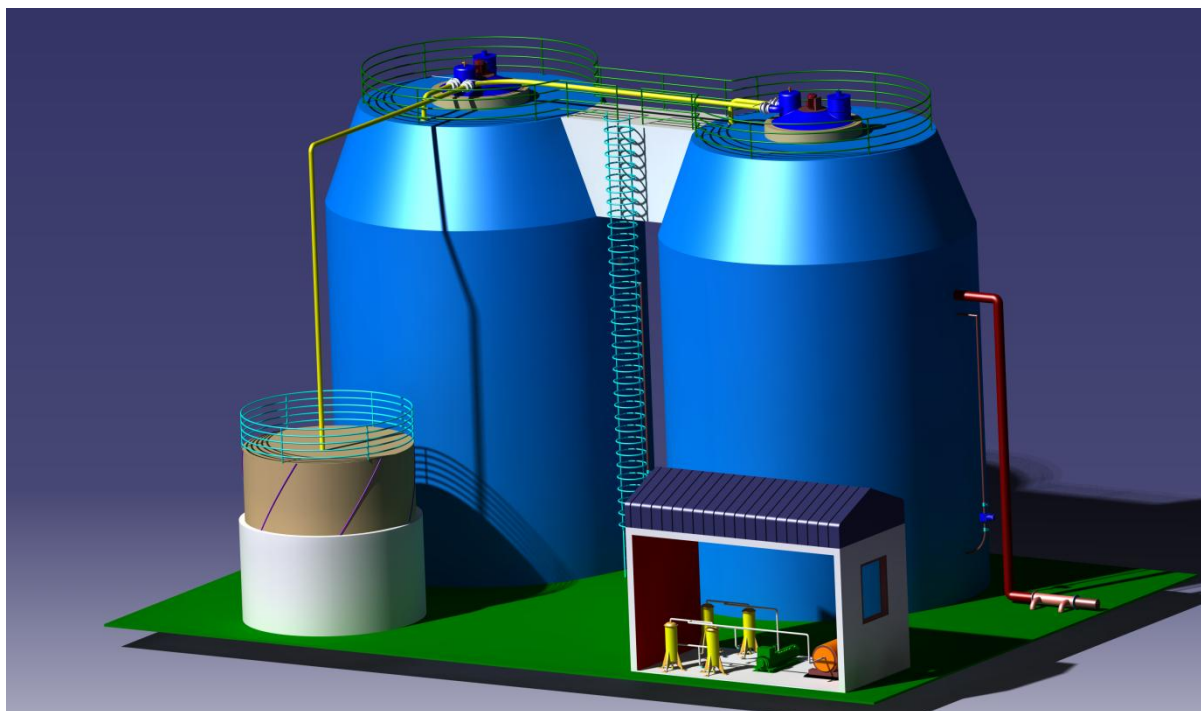
топлотне енергије за загревање дигестора и одређених објеката у постројењу. Когенерациони мотор такође производи топлотну енергију.



Слика 7.1.4 Когенерацијско постројење



Слика 7.1.5 Приказ унутрашњости дигестора са когенерацијским постројењем



Слика 7.1.6 Постројење за производњу биогаса из отпадних вода



8. Софтверско прорачунавање производње биогаза

За софтверско прорачунавање параметара везаних за когенерацију и производњу биогаза, користи се мини програм „Биогас калкулатор“ (слика 8.1). Програм није искључиво везан за когенерацију при пречишћавању отпадних вода, већ се потребни подаци могу добити и за производњу биогаза из различитих супстрата, било да је у питању само једна врста супстрата, или мешавина више различитих.

Од потребних података за рад програма користе се :

- Избор супстрата
- Количина супстрата на годишњем нивоу
- Избор примењеног когенерацијског мотора

general information
Прорачунавање производње биогаза и осталих параметара

substrates
Please select one or more substrates, fill in the amount field and click the "add to list" button.
Sewage sludge
amount 9125 t
add to list

hydraulic retention time
Set the number of days
180
120
60
0
24 days

CHP
Select an engine type
☒ gas engine
☐ double fuel engine

substrates available

no.	name	amount	t / unit	amount in t
1	Sewage sludge	9125.00	1.00	9,125.00
total:				9,125.00

calculate reset

Слика 8.1 Уношење улазних података у „биогаз калкулатор“ за прорачунавање производње биогаза и осталих радних параметара

За избор супстрата који се користи из листе супстрата је изабран „Sewage sludge“, тј. канализациони муљ. Испод избора супстрата потребно је уписати количину муља која пристиже у први дигестор на годишњем нивоу (због прецизности) у тонама, како би се избегле сезонске варијације, јер количина муља која се добија варира од временских (сезонских) прилика. Количина муља која



пристиже у дигестор на месечном нивоу је 25 000 kg, тј. 9125 t годишње. Унешене податке убацујемо у листу кликом на дугме „add to list“, тј. - додати у листу. Након што се подаци убаце у листу, могуће је унети податке за опциони следећи супстрат, на исти начин.

У делу „hydraulic retention time“, тј. „хидрауличко време задржавања“, уноси се број дана колико ће супстрат да се задржи у дигестору. Могуће је унети вредност од 1 до 180 дана.

У делу „CHP“, тј. „Combined Heat and Power“, на српском – когенерација, врши се одабир типа мотора. Понуђене опције су:

- гасни мотор
- двоструки бензински мотор.

Уколико је неки од параметара погрешно унесен, уношење свих нових вредности могуће је кликом на „reset“.

Прорачун се завршава кликом на дугме „calculate“, чиме програм прорачунава унешене податке, и даје излазне вредности (слика 8.2):

- ✓ Потребну запремину дигестора
- ✓ Количину производње гаса
- ✓ Ефикасност когенерацијског постројења
- ✓ Производњу електричне и топлотне енергије
- ✓ Приход од продаје произведене електричне струје
- ✓ Вредност инвестиције
- ✓ Укупан годишњи приход

Све добијене податке могуће је екстрактовати у Ексел документ.

Напомена: Когенерацијска ефикасност је постављена на стандардне вредности, тј. 30% за термалну и 36% за електричну ефикасност. Те вредности се могу повећати, у зависности од гасног мотора који се примењује. Повећањем ефикасности гасног мотора, повећавају се укупни приходи когенерацијског постројења. Вредност субвенционисаног kWh произведеног когенерацијом треба поставити на вредност од 6,7 €с, а цену kWh произведеног конвенционалним путем, као и цену радног часа треба смањити, тј. прилагодити вредностима које се примењују у Србији.



no.	name	amount	1/ unit	amount in t
1	Sewage sludge	9125.00	1.00	9,125.00
total:				9,125.00

general information
 Прорачунавање производње биогаса и осталих параметара

CHP efficiency
 electrical 40 %
 thermal 45 %

initial data
 date: 03/09/2012
 total weight of the material: 9,125.00t
 engine type: gas engine
 engine power: 40kW

digester size and storage demand
digester:
 hydraulic retention time [days]: 24
 required working digester volume [m³]: **600.00**
 volume load [kg org. DM/m³d]: 1.17
 DM content of input mix: 4.00%
required storage volume:
 total input [t/a]: 9,125.00
 mass loss (1.25 kg/m³ BG) [t]: -167.67
 balance [t/a]: 8,957.33
 Volume for 6 month storage: 4,478.66
 required storage volume [m³]: **4,478.66**
 Required area for land spreading [ha]: 0
 (allowed kg/N per ha: 170, mass loss: 20%)

energy production
electrical efficiency: $\eta_{el}=40\%$
 total electricity production [kWh]: 321,930.00
 electricity demand BGP [kWh] 5%: 16,096.50
 electricity sales [kWh]: **321,930.00**
thermal energy: $\eta_{th}=45\%$
 total heat production [kWh]: 362,171.25
 heat demand BGP [kWh] 20%: -72,434.25
 Surplus heat [kWh]: **289,737.00**

investment costs
 total core biogas plant: 120,000.00€
running costs:
 depreciation period (10 years): 12,000.00€
 interest 1/2 (6.50%): 3,900.00€
 maintenance, repair (2.00%): 2,400.00€
 maintenance CHP (1.00€/kWh): 3,219.30€
 insurance (0.50%): 600.00€
 labour costs (4.0h/d): 4,380.00€
 substrate costs: 0.00€
 costs ignition oil: 0.00€
 total costst: **26,499.30€**

gas utilisation
 biogas amount [m³a]: 134,137.50
 methane content [%]: 60.00%
 methane amount [m³]: 80,482.50
 methane energy content [kW]: 804,825.00
 continuous power output biogas [kW]: 37
 resulting full load hours [h/a]: 8048
 [h/d]: 22
 corresponding load (CHP): 91.87%

energy sales
income from electricity sales
 income from electricity sales: 21,569.31€
 electricity demand BGP: -804.83€
 total income electricity sales: **20,764.49€**

income
 total income electricity sales: 20,764.49€
 thermal energy: 14,486.85€
 fertiliser value (10.00€/t N): 0.00€
 total income: **35,251.34€**
 annual income: **8,752.04€**

Слика 8.2 Излазни параметри везани за рад когенерацијског постројења

8.1 Софтверско пројектовање дигестора

Програм на основу унетих података прорачунава најпре параметре за пројектовање дигестора. За проценат суве материје у муљу програм користи стандардну вредност од 4%. Сви фиксни подаци које користи програм се могу променити у подешавањима програма, тј. опцији „settings“, мењањем жељеног параметара у бази података.

Радна запремина дигестора је 600 m³, док је укупна потребна запремина оба дигестора – 4 478,66 m³. Прорачуном (Поглавље 7.) је добијена пројектована вредност од 4 500 m³, што потврђује тачност прорачуна.

8.2 Производња гаса

Укупна количина произведеног гаса је 134 137,50 m³ годишње.

Уколико се рачуна податак да у произведеном биогасу из процеса прераде отпадних вода има 60 % метана (како је и усвојено у програму), добија се вредност од 80 482,5 m³ метана, или енергија од 804 825 kW.



Континуирана снага биогаса на излазу је 37 kW, што доводи до рада под пуним оптерећењем од 8 048 сати годишње, тј. 22 сата дневно.

Одговарајуће когенерацијско оптерећење је 91.87 % (зависи од степена корисности гасног мотора, тј. избора мотора).

8.3 Ефикасност когенерацијског постројења

Ефикасност когенерацијског постројења зависи од избора гасног мотора. Програм даје могуће вредности степена корисности, и то:

- Континуално од 28 – 45 % за електрични степен корисности,
- Од 30 до 65 % за термички степен корисности, са кораком од 5 %.

Те вредности су подешене на почетне (30% за термалну и 36% за електричну ефикасност), али се могу променити.

Коришћењем гасног мотора са већим степеном корисности повећава се вредност почетне инвестиције, али се зато укупан годишњи приход знатно повећава.

Пример:

Гасни когенерацијски мотор снаге од 30 kW има електрични степен корисности од 33%, а термички од 35%. Програмом се добија вредност инвестиције од 90 000 €, и годишњи приход од 7 187,33 €.

Уколико се примени гасни мотор (снаге 40 kW) са већом ефикасношћу (43% електрична и 45% термичка), добија се вредност инвестиције од 120 000 € (30 000 € више од горњег примера), али је зато укупан приход на годишњем нивоу од 10 067 €.

За рад постројења користи се раније помињани „Jenbacher_ов“ мотор : J420 GS, снаге 40 kW, са електричним степеном корисности од 40,6%, и термичким степеном корисности од 44.5% (у програм се уносе вредности од 40% и 45%) [22].

8.4 Производња електричне и топлотне енергије

Постројење производи 804 825 kW енергије из метана. Са електричним степеном корисности од 40%, добија се 321 930 kWh електричне енергије.

Термички степен корисности је нешто виши, 45%, па је производња топлотне енергије 362 171,25 kWh. Од те вредности се одузима 20% за грејање сопственог постројења, па преостаје 289 737 kWh за продају. Продајна (субвенционисана) цена топлотне енергије из обновљивих извора енергије је 5 евро-центи по kWh.



8.5 Приход од продаје произведене електричне струје

Субвенционисана продајна цена електричне енергије је 6,7 с€ по kWh [23], па је приход од продаје електричне енергије дистрибутивној мрежи 21 569,31 €. Када се од те вредности одузме 804,83 € за напајање постројења, преостаје приход од 20 764,49 € годишње.

8.6 Вредност инвестиције

Укупна вредност инвестиције за овакво постројење, под описаним условима је 120 000 €. Да би прорачунали укупну добит рада постројења, потребно је израчунати његове расходе и приходе (на годишњем нивоу). Расходи постројења (за наредних 10 год.) су:

– Амортизација (период отплате је 10 година)	: 12 000 €
– Камата (6.5 %)	: 3 900 €
– Одржавање и ремонт (2% ук. инвестиције)	: 2 400 €
– Одржавање когенерацијског постројења (1€/ kWh)	: 3 219 €
– Осигурање (0,5%)	: 600 €
– Трошкови радне снаге (4 h/d)	: 4 380 €
– Трошкови набавке супстрата	: /

Укупни годишњи трошкови постројења : 26 499 €

8.7 Укупна добит постројења

Укупна годишња добит се добија када се од годишњег прихода од продаје електричне и топлотне енергије одузму годишњи трошкови постројења.

Приходи од продаје електричне енергије : 20 764,49 €

Приходи од продаје електричне енергије : 14 486,85 €

Укупни приходи од продаје енергије : 35 251,34 €

Укупни годишњи трошкови постројења : 26 499,30 €

Укупна добит постројења : 8 752,04 €



Закључак

Потрошња енергије је у порасту, па ће ускоро бити потребни нови извори за производњу електричне и топлотне енергије, како у сектору индустрије тако и у општој потрошњи. Основна предност когенерације је повећана искористивост енергената у односу на конвекционалне електране које служе само за производњу електричне енергије, као и у односу на топлане које служе само за производњу топлотне енергије која служи за технолошке сврхе или за производњу топле воде. Примена когенерацијских постројења првенствено се разматра због њихове велике ефикасности, а самим тим постиже се велика економска добит.

Узимајући у обзир да ће временом залихе конвенционалних енергената бити све мање и мање, когенерација из отпадних вода ће бити неопходно решење.

Уколико у неком већем граду постоји река са великим протоком (и великим загађењем), постављање централног система за пречишћавање отпадних вода је економски прихватљиво и еколошки потребно решење. Изградњом оваквог постројења решио би се проблем отпадних вода.

Највећи проблем изградње централног система за пречишћавање отпадних вода је висока цена инвестиције. Продајом произведене електричне енергије постројење остварује приход којим се врши повраћај инвестиционих трошкова, а по истеку периода отплате, остварује се потребна добит.

Производња и коришћење биогаса из анаеробне дигестије има позитиван утицај на околину и друштвено-економске користи за друштво у целини, као и за укључене пољопривреднике. Искоришћавање унутрашњег вредносног ланца биогаса побољшава локалне економске услове и осигурава радна места у руралним подручјима, те повећава куповну моћ у регији. Самим тим, побољшава животни стандард и доприноси економском и социјалном развоју.



Литература

- [1] Т. Al Seadi: Приручник за биоплин, Загреб, 2008
- [2] <http://www.agroplod.rs/obnovljivi-izvori-energije/biomasa-obnovljivi-izvor-energije/>, приступљено 6.8.2012.
- [3] http://www.eko.vojvodina.gov.rs/files/file/razno/vodosnabd.%2025.11.2008/predlog%20strategije/12_najbolje%20dostupne%20tehnologije%20preciscavanja%20otpadnih%20voda.pdf приступљено 6.7.2012.
- [4] <http://www.zelenazemlja.com/vest.php?id=81&str=1> , приступљено 17.7.2012.
- [5] Др В. Шуштершич, Третман отпадних вода, скрипта, Машински факултет, Крагујевац, 2008
- [6] http://www.vodovodva.co.rs/goric_sl_1.htm, приступљено 19.7.2012.
- [7] <http://www.evib.rs/assets/proizvodi/zgrtaci1.jpg>, приступљено 19.7.2012.
- [8] <http://alsbizz.blogspot.com/p/whats-it-all-about.html>, приступљено 19.7.2012.
- [9] <http://www.biogas.rs/digestija.html>, приступљено 6.5.2012.
- [10] Др М. Мартинов: Студија о процени укупних потенцијала и могућностима производње и коришћења биогаза на територији АП Војводине, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2011.
- [11] http://www.mfkv.kg.ac.rs/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=223&Itemid=57, приступљено 2.7.2012.
- [12] http://www.wastewaterhandbook.com/documents/sludge_treatment/831_anaerobic_digestion_theory.pdf, приступљено 10.5.2012.
- [13] <http://www.kogeneracija.rs/kogen.html>, приступљено 24.6.2012.
- [14] http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETSKE_TRANSFORMACIJE#Kogeneracija приступљено 24.6.2012.
- [15] http://www.ge-energy.com/solutions/cogeneration_of_heat_and_power.jsp приступљено 29.6.2012.
- [16] <http://www.esco.rs/kogeneracija.html>, приступљено 30.6.2012.
- [17] http://www.geenergy.com/products_and_services/products/gas_engines_power_generation/ge_jenbacher_type_3_gas_engines.jsp, приступљено 1.7.2012.



- [18] Д. Љубисављевић, А. Ђукић, Б. Бабић: Пречишћавање отпадних вода, Грађевински факултет, Београд, 2006
- [19] http://www.wastewaterhandbook.com/documents/sludge_treatment/832_anaerobic_digestion_configuration.pdf, приступљено 13.5.2012.
- [20] М. Иветић: Централно постројење за пречишћавање отпадних вода града Крагујевца, Крагујевац, 1989
- [21] http://www.arttec.net/SolarDHW/12_New_HX/HX_diagram.jpg, приступљено 2.8.2012.
- [22] http://www.kogeneracija.rs/fajlovi/type4_feb08_brochure.pdf, приступљено 29.8.2012.
- [23] Службени гласник РС, број 84/04, Уредба о мерама подстицаја за производњу електричне енергије коришћењем обновљивих извора енергије и комбинованом производњом електричне и топлотне енергије, члан 4.
- [24] Др М. Бабић, Др Милан Деспотовић, Др Рајко Чукић, Др Небојша Јовичић, Пречишћавање биогаса произведеног у централном постројењу за пречишћавање отпадних вода у циљу елиминисања водоник-сулфида, Машински факултет, Крагујевац, 2008 – 2010.