

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Инжењерство заштите животне средине

Ниво студија: Мастер студије

Предмет: Инжењерство заштите животне средине

Број индекса: 345/2018

Александра З. Сретеновић

**ТЕХНО-ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА ПОЉОПРИВРЕДНОГ БИОГАС
ПОСТРОЈЕЊА У МАЛОМ СЕОСКОМ ДОМАЋИНСТВУ**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. проф. др Вања Шуштершич - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру мастер рада кандидат треба да изврши преглед литературе и досадашњих истраживања везаних за процес настанка биогаса, прикаже различита решења дигестора, истражи могућности изградње постројења за производњу биогаса из кокошјег стајњака, изврши прорачун постројења за производњу биогаса од кокошјег стајњака у малом сеоском домаћинству, размотри могућност примене когенеративног постројења за коришћење биогаса и уради 3Д модел датог постројења.

Препоручена литература:

- [1] Јовановић М., Радаковић Д., Киш Ф.: *Значај производње биогаса на пољопривредним газдинствима Војводине*, Економика пољопривреде, број 2/2008
- [2] Dieter Deublein, Angelika Steinhauser: *Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008
- [3] Nakomčić-Smaragdakis, B., Čepić, Z., Dragutinović, N., Šljivac, D.: *Korišćenje kogenerativnog biogas postrojenja u cilju smanjenja zagađenja životne sredine*, Međunarodna naučna konferencija, Novi Sad, ETIKUM, Srbija, 12-13 jun, 2013
- [4] <http://www.bioenergy-serbia.rs/index.php/en/giz-dkti-programme/biogas-plants>

Ментор:

Крагујевац

04.03.2021.

Др Вања Шуштершич, ред. проф.

Резиме:

Биогас се у Србији намеће као алтернативни извор енергије на пољопривредним газдинствима са два аспекта, енергетског и еколошког. У поређењу са техникама производње електричне енергије из других обновљивих и фосилних биогених енергената, коришћењем биогаса остварује се знатно смањење емисије гасова који изазивају ефекат стаклене баште.

У раду је приказан прорачун постројења на биогас на фарми пилића, капацитета 7000 пилета у турнусу, прорачунат је потенцијал производње биогаса, као и димензије дигестора. Урађен је 3Д модел датог постројења на биогас, а моделовање је извршено у софтверском пакету *Catia V5*. Извршена је и техно-економска анализа производње биогаса од кокошјег стајњака у малом сеоском домаћинству, и дат је приказ могућности даљег коришћења прорачунатих потенцијала.

Циљ овог рада јесте утврђивање економске оправданости улагања у обновљиве изворе енергије, односно биогасна постројења која могу да се користе на мањим сеоским фармама. Топлотна енергија практично представља споредни производ код биогасних постројења који значајно утиче на исплативост улагања. Уколико се топлотна енергија као споредни производ не искористи, тада не постоји могућност за њено вредновање, што последично доводи до нижих прихода од употребе ових постројења. Оцена економске оправданости инвестиција у постројења на биогас применом приносне методе показује да се производњом електричне и топлотне енергије из отпадне биомасе могу остварити позитивни финансијски резултати.

Кључне речи: обновљиви извор енергије, биогас, анаеробна дигестија, постројење на биогас, дигестор, електрична енергија, техно-економска анализа

Abstract:

Biogas is emerging in Serbia as an alternative source of energy on agricultural farms with two aspects, energy and environmental. Compared to the techniques of producing electricity from other renewable and fossil biogenic energy sources, the use of biogas significantly reduces the emission of greenhouse gases.

The paper presents the calculation of a possible biogas plant on a chicken farm, with a capacity of 7000 chickens per three months, biogas production as well as the dimensions of the digester. 3D model of the appearance of the biogas plant has been established. The modeling was performed in the Catia V5 software package. A techno-economic analysis of biogas production from chicken manure in a small rural household was performed, as well as the further use of calculated potentials

The purpose of this master thesis is to determine the economic justification of investment in renewable energy sources, i.e. biogas plants that can be used on smaller rural farms. Thermal energy is practically a by-product of biogas plants that significantly affects the return on investment. If thermal energy is not used as a by-product, then there is no possibility for its evaluation, which consequently leads to lower revenues from the use of these plants. The assessment of the economic justification of investments in biogas plants using the yield method shows that the production of electricity and heat from waste biomass can achieve positive financial results.

Key words: renewable source energy, biogas, anaerobic digestion, biogas power plant, digester, electric energy, techno-economic analysis

Садржај

1. Увод	1
2. Биогас	2
2.2. Кисеоник	5
2.3. Температура	5
3. Технологије биогасних постројења	7
3.1. Пољопривредно биогасно постројење	7
3.1.1 Мала биогасна постројења (за породична газдинства)	7
3.1.2 Средње велика биогасна постројења (за пољопривредна газдинства)	9
3.1.3 Велика постројења (централизована биогасна постројења)	11
3.2 Постројења за обраду отпадних вода	15
3.3 Постројења за сагоревање чврстог комуналног отпада	15
4. Правна регулатива	16
5. Биогасна постројења	18
5.1 Развој биогасних постројења у свету	18
5.2 Производња биогаса у Европи	20
6. Предности производње биогаса	22
6.1 Економске предности	22
6.2 Еколошке предности	24
6.3 Социјални разлози	24
6.4 Коришћење топлоте	25
6.5 Употреба биогаса у когенерацијским постројењима	25
7. Опис биогас постројења на живинској фарми	26
7.1 Јединица за пријем	28

7.2 Реактор за хидролизу	29
7.3 Систем пуњења	29
7.4 Ферментор	30
7.4.1 Мешање	31
7.5 Складиштење биогаса	32
7.6 Супстрат	33
7.6.1 Припрема супстрата и системи пуњења	33
7.6.2 Отворене фазе хидролизе, предјаме и резервоари за разређивање	34
7.6.3 Пуњење чврсте материје	34
7.6.4 Складиштење остатка ферментације код континуалног поступка	35
7.6.5 Складиштење дигестата	36
8. Живинарска фарма	37
8.1 Капацитет фарме	38
8.2 Електрична енергија	38
8.3 Неодрживост у процесу узгајања пилаци	39
9. Потенцијал за производњу биогаса	41
10. Прорачун дизајна биогас дигестора	43
11. Економска анализа	48
12. Закључак	50
13. Литература	52

СПИСАК СЛИКА

Слика 1. Фазе процеса настанка биогаса

Слика 2. Традиционални (а) кинески (б) индијски тип дигестора

Слика 3. Хоризонтални дигестор

Слика 4. Средње велика биогасна постројења – принцип рада

Слика 5. Средње велико биогасно постројење – коришћење топлоте

Слика 6. Шема производње и дистрибуције енергије коришћењем биогаса

Слика 7. Постојење за производњу биогаса са основним елементима

Слика 8. Технолошка шема третмана биогаса

Слика 9. Технолошка шема третмана преосталог ефлуента

Слика 10. Инсталирани капацитети биогасних постројења за производњу електричне енергије

Слика 11. Производња биогаса из примарне енергије у ЕУ

Слика 12. Производња биогаса у Европи 2015. године

Слика 13. Биогасно постројење

Слика 14. Центрифугална пумпа

Слика 15. Ферментор са потпуним мешањем, са мешалицом, дугачким вратилом и другим уградним елементима

Слика 16. Ферментор од нерђајућег челика у изградњи

Слика 17. Складиштење биогаса

Слика 18. Локација фарме у односу на град Крагујевац

Слика 19. Сателитски поглед на фарму

Слика 20. Ђубрење пољопривредног земљишта

Слика 21. Геометријски приказ дигестора

Слика 22. 3Д модел могућег постројења - поглед одозго

Слика 23. 3Д модел постројења - поглед спреда

Слика 24. 3Д модел - дигестор

Слика 25. 3Д модел - приказ пумпи

СПИСАК ТАБЕЛА, ГРАФИКА И ДИЈАГРАМА

Табела 1. Feed-in тарифе у Србији

Табела 2: ЕЕГ 2012, Тарифна структура за постројења на биогаз

Табела 3. Основна тарифа према инсталираном капацитету у Француској

Табела 4. Број грла живине и број газдинстава, 2012. и 2018.

Табела 5. Просечна дневна производња стајњака за тип животиње који се узгаја на фармама

Табела 6. Производња стајњака за живину

Табела 7. Количине стајњака по врсти животиња

Табела 8. Укупна количина стајњака и комуналног супстрата

Табела 9. Димензије дигестора

Табела 10. Инвестициони трошкови

Граф. 1. Укупан број грла живине у Републици Србији, 2009–2018. (мил.)

Граф. 2. Структура грла живине (вредности у хиљадама)

Дијаграм 1. Веза између температуре, временског периода дигестије и количине свежег стајњака у вредности од 8%

1. Увод

Република Србија поседује веома добре услове за развој пољопривредне производње (5.097.000 ha пољопривредног земљишта) као и за рурални развој (чак 85% територије је рурално). Такође, Србија располаже одговарајућим институцијама образовно-научног профила, као и дугом традицијом аграрне државе која иде у прилог развоју људских ресурса.

Упркос томе, пољопривреда и село у Србији су у процесу континуиране деградације и заостајања. У последњих петнаест година пољопривредна производња је, према подацима Републичког завода за статистику, остварила раст у само четири године. Као последица таквих трендова долази до деаграризације и сенилизације сеоских подручја. Од укупне површине пољопривредног земљишта у Србији, 80% чине обрадиве површине, што по глави становника износи просечно око пола хектара - знатно више него у земљама са развијеним аграром попут Холандије и Немачке [1].

Према Попису пољопривреде из 2012. године, просечно пољопривредно газдинство у Србији користило је 4,5 хектара пољопривредног земљишта. Мала породична газдинства доминирају у структури пољопривредних газдинстава у односу на њихов укупан број.

Постројења за производњу електричне и топлотне енергије из обновљивих извора примарне енергије су доспела у фокус у последњој декади и постала су предмет интересовања и дискусије у свим земљама које су потписале Кјото протокол и прихватиле концепт одрживог развоја. Земље ЕУ одавно су увиделе потенцијал постројења за производњу и коришћење биогаса у циљу повећања удела обновљивих извора енергије у енергетском миксу и смањења негативног утицаја пољопривредне и индустријске производње на животну средину. Тако на пример у Немачкој, захваљујући подстицајима државе, број постројења за производњу биогаса из пољопривредних и животињских остатака и отпадних вода је порастао са 370 на 3500 у периоду од 1996. до 2006. године [2].

Када се говори о биогасу, као једном од глобално заступљенијих алтернативних извора енергије, обично се мисли на гас са великом количином метана у себи, који настаје ферментацијом органских супстанци, као што су стајњак, муљ из отпадних вода, градски чврсти отпад или било која друга биоразградива материја, при анаеробним условима. Биогас је мешавина метана и угљен-диоксида, а може садржати и амонијак, сумпор-диоксид и водоник у зависности од коришћене биомасе. Често се за биогас користе и називи као што су барски гас, депонијски гас, мочварски гас и слично, у зависности од места настанка. Сваки од њих има различит садржај метана и угљен-диоксида и мањи удео других гасова.

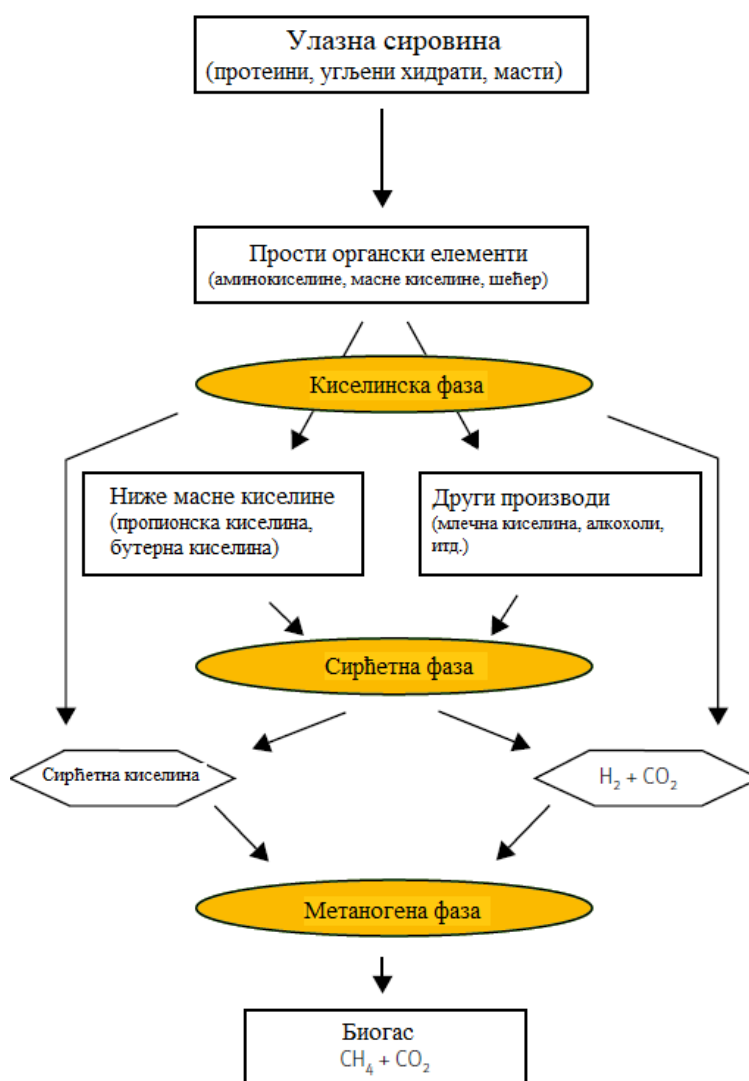
2. Биогаз

Биогаз настаје у биолошком процесу. При томе се без присуства кисеоника (односно анаеробно) из органске масе формира мешавина гасова, такозвани биогаз. Биогазни процес је у природи веома широко распрострањен, одвија се на пример у мочварама, на дну мора и океана, у јамама за течни стајњак као и у организмима преживара. При томе се органска маса помоћу низа микроорганизама готово у целини конвертује у биогаз. Уз то додатно настаје извесна количина топлотне енергије.

Формирана мешавина гасова састоји се претежно од метана (50–75 vol%) и угљен-диоксида (25–50 vol%). Поред тога се у биогазу налазе и мале количине водоника, водоник-сулфида, амонијака и других гасова у траговима. Процес настанка биогаза може да се подели у неколико фаза (Слика 1). При томе је битно да су појединачне фазе разградње оптимално међусобно усклађене да би се целокупан процес одвијао без сметњи.

У првој фази, тзв. „хидролизи“, се комплексна једињења улазне сировине (нпр. угљени хидрати, протеини, масти) разлажу на једноставнија органска једињења (нпр. аминокиселине, шећер, масне киселине). Хидролитичке бактерије укључене у тај процес, у ту сврху ослобађају ензиме који органску масу разлажу биохемијским путем.

Настали интермедијарни производи се затим у такозваној „киселинској фази“ (ацидогенези) помоћу ферментативних (ацидогених) бактерија даље разлажу на ниже масне киселине (сирћетна, пропионска и бутерна киселина) као и угљен-диоксид и водоник. Међутим, поред тога се формирају и мале количине млечне киселине и алкохола. На врсту производа насталих у овој фази утиче концентрација интермедијарно формираног водоника [3].



Слика 1. Фазе процеса настанка биогаса [3]

Ови производи се након тога у оквиру ацетогенезе, тј. „сирћетне фазе“, помоћу ацетогених бактерија конвертују у прекурзорне супстанце биогаса (сирћетна киселина, водоник и угљен-диоксид). У том контексту велики значај има парцијални притисак водоника. Превисок садржај водоника из енергетских разлога спречава конверзију интермедијарних производа ацетогенезе. Као последица тога долази до акумулације органских киселина, нпр. пропионске, изобутерне, изовалеријанске и капронске киселине, и инхибирања настанка метана. Ацетогене бактерије (које формирају водоник) из тог разлога морају да оформе тесну животну заједницу са метаногеним архејама које приликом настанка метана заједно са угљен-диоксидам троше водоник (интерспецијски трансфер водоника) и тако за ацетогене бактерије обезбеђују прихватљиве услове у окружењу [3].

У наредној „метаногенези“, последњој фази настанка биогаса се, пре свега сирћетна киселина, као и водоник и угљендиоксид, помоћу строго анаеробних метаногених археја конвертују у метан. Хидрогенотрофни метаногени метан производе од водоника и угљен-диоксида, док ацетокластични метаногени метан формирају цепањем киселина. Под условима који преовлађују у пољопривредним биогас постројењима се формирање метана у случају већих оптерећења органском материјом претежно одвија у реакцији са водоником, а само у случају релативно малих оптерећења, органском материјом разлагањем сирћетне киселине. Сазнање стечено из процеса ферментације канализационог муља да 70 % метана потиче од разлагања сирћетне киселине, а само 30 % од конверзије водоника, не важи код ферментатора великог капацитета са веома кратким ретенционим временима типичним за пољопривредна биогас постројења. Овде доминира реакциони пут који подразумева конверзију водоника уз синтрофну оксидацију ацетата. Начелно се четири фазе анаеробне разградње у једноступеном процесу одвијају временски истовремено [3].

Међутим, бактерије појединачних фаза разградње имају различите захтеве у погледу свог животног окружења (нпр. рН вредност, температура), па се зато у погледу процесне технике мора да пронађе компромис. Пошто метаногени микроорганизми услед мале брзине раста представљају најслабију карику биоценозе и најосетљивије реагују на сметње, услови у окружењу морају да се прилагоде захтевима метаногена. Покушај да се хидролиза и киселинска фаза двама одвојеним процесним корацима просторно одвоје од метаногене фазе (вођење двоступеног процеса), у пракси додуше успева само условно, пошто упркос ниској рН вредности у фази хидролизе ($\text{pH} < 6,5$) ипак делом долази до формирања метана. Стога гас формиран у фази хидролизе поред угљен-диоксида и водоника садржи и метан, због чега тај гас мора да се искористи или третира да би се избегли негативни утицаји на животну средину и безбедносни ризици. У зависности од конструкције и начина рада биогас постројења, као и састава и концентрације свеже масе коришћене као супстрат, код вишеступених процеса у појединим фазама ферментације могу да настану различити услови у окружењу. А услови окружења опет утичу на састав и активност микробиолошке биоценозе и стога имају директан утицај на формиране метаболичке производе [3].

2.1. Услови у окружењу

Код описа услова у окружењу треба правити разлику између мокре ферментације и ферментације чврсте материје (названа и сува ферментација), пошто пре свега, у погледу садржаја воде, садржаја хранљивих материја и транспорта материјала постоје разлике између ова два поступка. У наредном делу разматрана је само мокра ферментација, јер њена примена доминира у пракси.

2.2. Кисеоник

Метаногене археје спадају у најстарија жива бића на земљи и настале су пре око три до четири милијарде година, давно пре него што је настала атмосфера какву познајемо данас. Из тог разлога ти микроорганизми и данас захтевају животне услове без присуства кисеоника. Већина врста одумиру већ услед малих количина кисеоника. Међутим, унос кисеоника у ферментор по правилу не може да се избегне у целини. Чињеница да метаногене археје не бивају одмах спречене у својој активности или чак потпуно одумиру, условљена је околношћу да живе у заједници са бактеријама које троше кисеоник из претходних фаза разградње. Неке од њих су такозване факултативно анаеробне бактерије. Оне могу да преживе како уз присуство кисеоника, тако и кроз без кисеоника. Све док унос кисеоника није сувише велик, оне ће га потрошити пре него што оштети метаногене археје које нужно зависе од окружења без присуства кисеоника. Стога и атмосферски кисеоник, који се ради биолошке десумпоризације уноси у гасни простор ферментора, нема негативан утицај на формирање метана [3].

2.3. Температура

Начелно важи да се хемијске реакције одвијају утолико брже што је већа околна температура. То, међутим, само условно може да се примени на процес биолошке разградње и конверзије. Овде треба узети у обзир да за различите микроорганизме укључене у метаболичке процесе постоје различите оптималне вредности температуре. Уколико се те оптималне температуре не достигну, односно прекораче, то може да доведе до инхибиције и у екстремном случају до непоправљивог оштећења укључених микроорганизама.

Микроорганизми укључени у разградњу према оптималној температури могу да се поделе у три групе. Овде се прави разлика између психрофилних, мезофилних и термофилних микроорганизама:

Оптимална температура за психрофилне микроорганизме је испод 25 °C. Код тих температура није потребно загревање супстрата, односно ферментора, али су капацитет разградње и производње гаса веома мали. Стога по правилу није могућ економски исплатив рад биогаз постројења.

Највећи део познатих метаногена свој оптималан раст остварује у мезофилном температурном опсегу између 37°C и 42°C. Постројења која раде у мезофилном режиму су у пракси најраспрострањенија, пошто се у том температурном опсегу остварују релативно високи приноси гаса, као и добра стабилност процеса [3].

Биогас је гасовито гориво које се добија анаеробном разградњом органских материја, укључујући ђубриво, канализациони муљ, комунални отпад или било који други биоразградиви отпад. Састоји се од око 60% метана, 35% угљен-диоксида, 5% смеше водоника, азота, амонијака, сумпороводоника, угљен-моноксида, кисеоника и водене паре. Својства биогаса као горива у уској су вези са уделом метана. Огревна вредност је директно пропорционална количини метана и креће се од 22 до 25 MJ/m³ што даје енергетску вредност од 6.1 до 6.9 kWh/m³. Биогас настаје ферментацијом, без присуства кисеоника, садржи метан и угљен-диоксид у размери 2:1 те се може употребљавати као гориво. Главна храна за бактерије су елементарни азот, угљеник и неорганске соли. Однос између угљеника и азота треба да буде између 20:1 до 25:1. Да би се то постигло потребно је мешати животињски измет са биљним отпацама. Различити типови биомасе се употребљавају као супстрати у анаеробној ферментацији за производњу биогаса: стајско ђубриво, остаци и нуспроизводи из пољопривредне производње, разградљиви органски отпад из пољопривредне и прехранбене индустрије (остаци биљног и животињског порекла), органски део комуналног отпада и отпада из угоститељства (остаци биљног и животињског порекла), отпадни муљ, енергетски усеви (кукуруз, различите врсте трава, детелине) [3].

Супстрати са садржајем суве материје мањим од 20% користе се за тзв. "мокру дигестију". У ту категорију супстрата сврставају се стајско ђубриво и гнојница као и органски отпад из прехранбене индустрије са високим садржајем воде. Када је у супстрату садржај суве материје 35% или већи, процес дигестије се назива "сува дигестија", а типичан је за анаеробну дигестију енергетских усева и силажа. Избор типа и количине сировине погодне за супстратну мешавину зависи од удела суве материје, садржаја шећера, масноћа и беланчевина. Процес настанка биогаса резултат је низа повезаних процесних корака током којих се иницијални супстрат разлаже на једноставнија једињења, све до настанка биогаса. Анаеробна дигестија се може одвијати на различитим температурама. Температуре се класификују у три температурне зоне: психрофилну зону са температуром испод 25°C и трајање процеса је од 70 до 80 дана, мезофилну зону са температуром од 25-45°C и трајањем процеса од 30 до 40 дана и термофилну зону са температуром од 45-70°C и трајањем процеса од 15 до 20 дана. Температуру процеса важно је одржати константном јер промене температуре негативно утичу на производњу биогаса. Мезофилне бактерије су бактерије које расту у температурном распону од 20-45°C. Оне подnose промене температуре од +/-3°C без знатних сметњи у производњи биогаса. Термофил је микроорганизам који је способан да се развија на температура већим од 45°C. Термофилне бактерије су осетљиве на варирања температуре од +/- 1°C те им је потребно дуже времена да се прилагоде новонасталим условима и достигну максималну производњу метана [3].

3. Технологије биогасних постројења

Може се рећи да су биогасна постројења она постројења у којима се врши производња биогаса. Биогас се добија из различитих врста супстрата, анаеробном дигестијом, па тако имамо различите врсте биогасних постројења, а то су:

- пољопривредна биогасна постројења;
- постројења за обраду отпадних вода;
- постројења за обраду чврстог комуналног отпада;
- индустријска постројења за производњу биогаса;
- производња депонијског биогаса, итд.

3.1. Пољопривредно биогасно постројење

Када се говори о биогасном постројењу најчешће се мисли на пољопривредно биогасно постројење. Код пољопривредних биогасних постројења за производњу биогаса користе се супстрати као што су:

- стајско ђубриво, остаци и нуспроизводи из пољопривредне производње;
- разградљиви органски отпад из пољопривредне и прехранбене индустрије (остаци биљног и животињског порекла);
- енергетски усеви (кукуруз, сирак, различите врсте трава, детелина).

Биогас се најчешће користи као гориво у когенерацијском постројењу у сврху добијања електричне енергије и топлоте коју производи гасни мотор или турбина.

Постоје три главне категорије пољопривредних биогасних постројења:

- мала постројења (за породична газдинства),
- средње велика постројења (за фарме) и
- велика постројења (централизована биогасна постројења) [3].

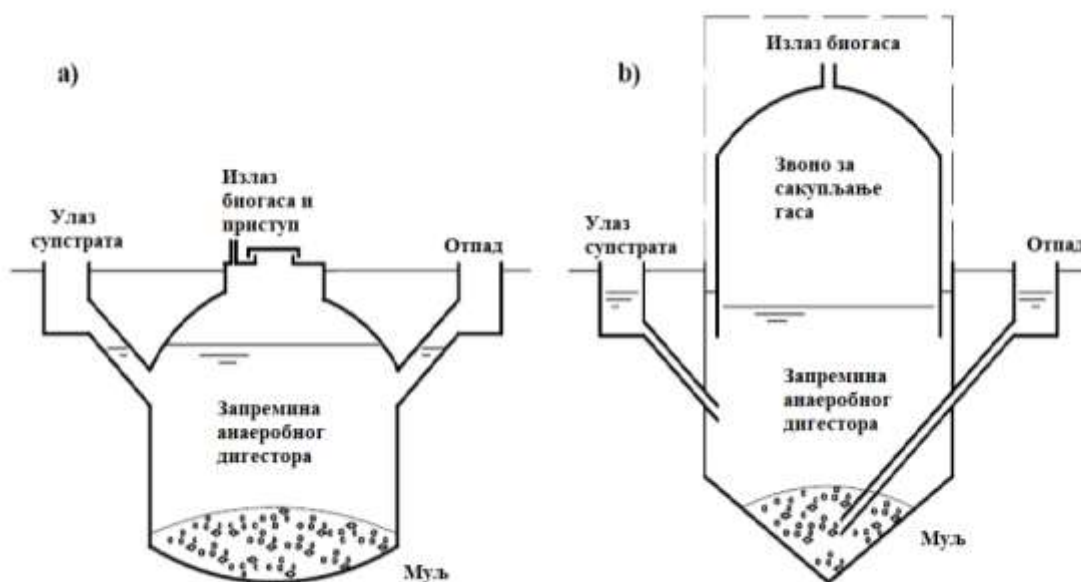
3.1.1 Мала биогасна постројења (за породична газдинства)

Произведени биогас код ових постројења служи за задовољење кућних потреба као што су кување и осветљење. Органски отпад из домаћинства служи као супстрат за производњу биогаса. Управљање и одржавање није посебно захтевно јер није потребно уградити инструменте за контролу процеса код оваквих постројења. Уз овакве карактеристике иде и ниска цена па су приступачни у земљама са нижим

стандардом живљења. Ова постројења су се појавила у земљама са топлијом климом па није потребно загревање посуде за ферментацију. Уједно се и типови постројења зову по земљама порекла (Кина, Индија и Непал) [4].

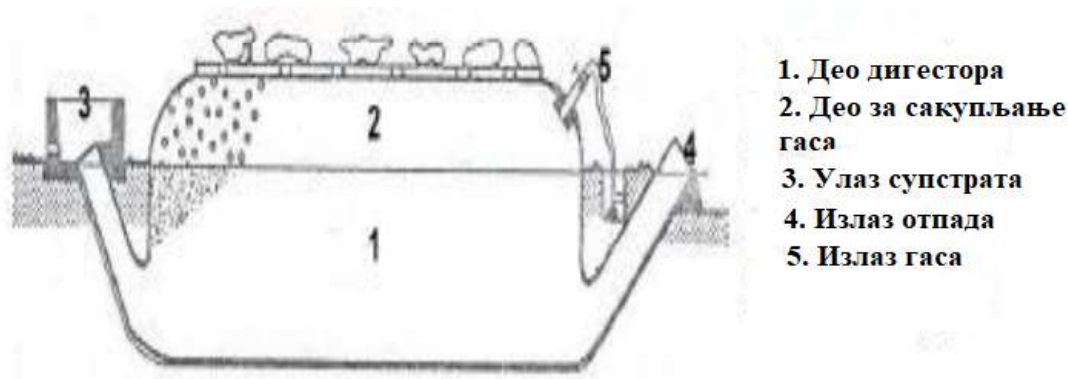
Иако ова постројења потичу из поменутих земаља, она су данас заступљена по целом свету јер их производе и продају специјализоване компаније.

Традиционална постројења могу бити кинеског, индијског (Слика 2) и хоризонталног типа (Слика 3) [4].



Слика 2. Традиционални (а) кинески (б) индијски тип дигестора [4]

Кинески тип дигестора је смештен испод земље, обично је запремине 6 m^3 - 8 m^3 , полупроточан је, 2-3 пута годишње се празни. Индијски се разликује по томе што има плутајуће звоно које скупља биогаз. Хоризонтални дигестор се пуни са једне стране, а дигестат се одстрањује са друге стране. Супстрат се у овом случају сам помера и честице циркулишу унутар дигестора [4].



Слика 3. Хоризонтални дигестор [4]

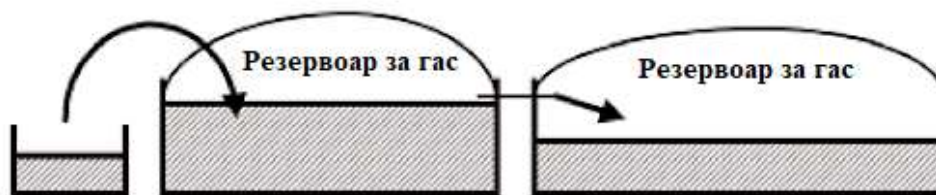
Ова постројења су веома једноставна. Супстрат чини биоразградиви отпад из домаћинства и/или материје са фарми. Овако произведен биогаз се користи за потребе домаћинства (кување и осветљење и/или производња електричне енергије помоћу малих биогазних генератора). Дигестори су једноставни и јефтини, направљени од локалног грађевинског материјала. На тржишту постоје и лаке преносиве верзије направљене од специјалне пластике. Процес дигестије је психрофилан или мезофилан јер нема загревања дигестора, па је процес дигестије дуг [4].

3.1.2 Средње велика биогазна постројења (за пољопривредна газдинства)

Оваква постројења карактеристична су за пољопривредна газдинства. Димензионисана су у складу са количином супстрата које настаје на пољопривредној фарми. Главни супстрат је стајско ђубриво. Све се више граде оваква постројења јер су пољопривредници схватили да им производња биогаза омогућује збрињавање отпада насталог на фармама и производњу квалитетног ђубрива, али и могућност учешћа на тржишту обновљивих извора енергије. Постојења могу бити направљена већих или мањих димензија, различитог дизајна и технологија, али се више или мање базирају на истом принципу рада (Слика 4).

Супстрат се прикупља у прихватној јединици из које се одводи у ферментор који је непропустан за гасове, а израђен је од челика или бетона и топлотно изолован како би се температура процеса одржала константном. Остали делови који су неопходни код конструисања биогазног постројења са мешањем супстрата су:

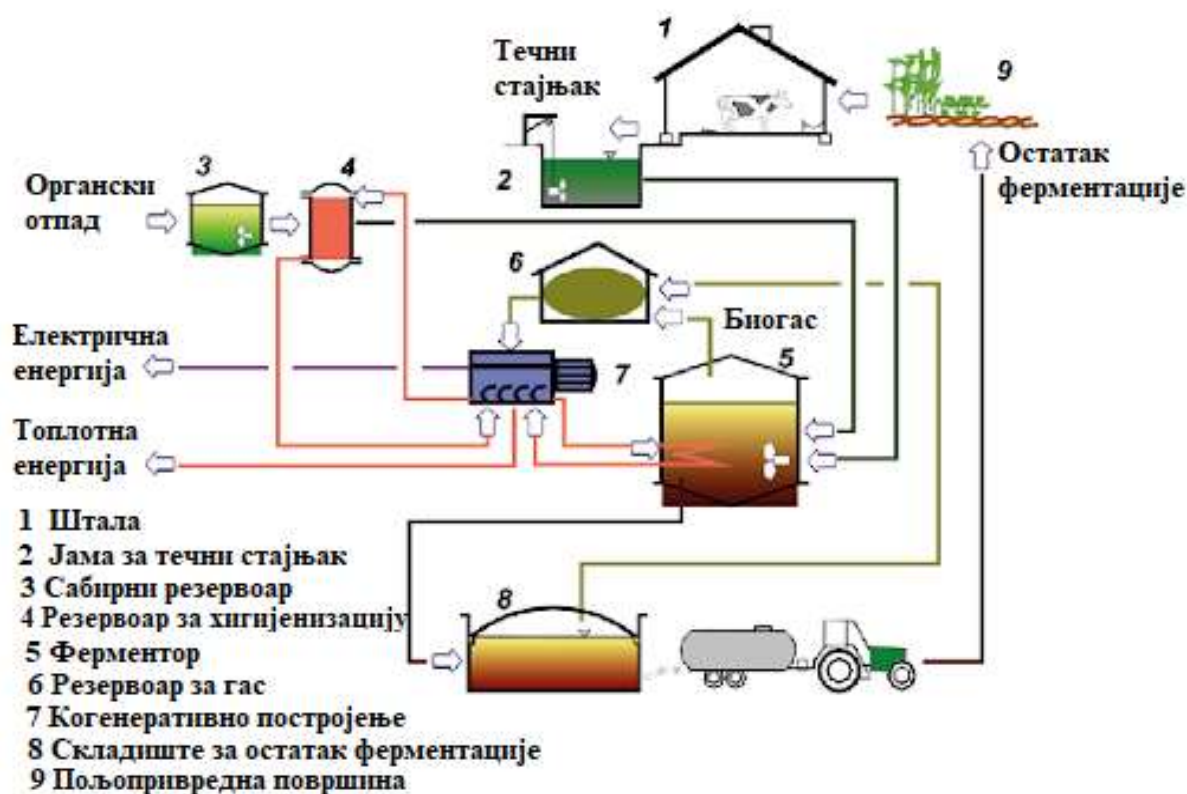
- резервоар за складиштење стајског ђубрива;
- резервоар за складиштење дигестата;
- резервоар за складиштење произведеног биогаза и
- когенерацијска јединица [5].



Прихватна јединица Ферментор Резервоар за остатак ферментације

Слика 4. Средње велика биогазна постројења – принцип рада [5]

Трећина топлоте добијене у когенерацијској јединици користи се за загревање и одржавање жељене температуре у ферментору. Остатак топлоте се одбацује или се користи за грејање перадарника, стакленика или неког насељеног подручја или економске зоне у којој је потребна топлота током целе године за процесе сушења или грејања (Слика 5).



Слика 5. Средње велико биогазно постројење – коришћење топлоте [5]

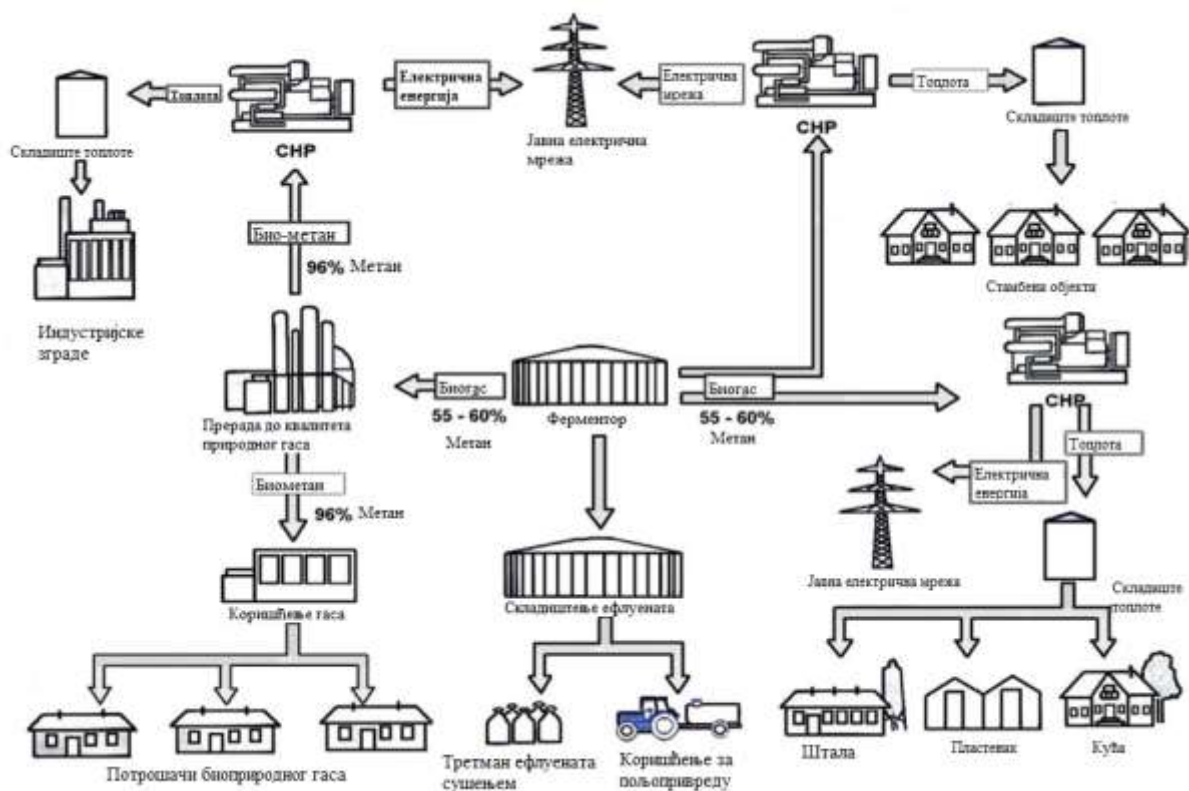
3.1.3 Велика постројења (централизована биогасна постројења)

Велика биогас постројења предвиђена за коферментацију нису обавезно везана за пољопривредно газдинство. У Данској се таква постројења експлоатишу већ више од 20 година. У Немачкој се таква постројења граде претежно у северним покрајинама. Током последњих година градња таквих постројења допринела је знатном порасту просечне и апсолутне инсталиране електричне снаге из биогас постројења. У овим постројењима прерађују се косупстрати из пољопривредних газдинстава и, ако је могуће, ко-субстрати из индустрије. Власници оваквих постројења обично су кооперативе - удружења више пољопривредника, и евентуално корисници топлотне енергије. Уобичајени однос мешања осоке и ко-субстрата је између 3:1 и 2:1. Ферментована маса се даје пољопривредницима, а они је разбацују по пољопривредним површинама. За таква велика биогас постројења типични су стојећи вертикални ферментори од емајлираног челика или бетона са централно постављеним мешањем који се континуално погоне. Ферментори имају запремину 1000-5000 m³, а однос висина - пречник је између 1,1 и 1,5 [6].

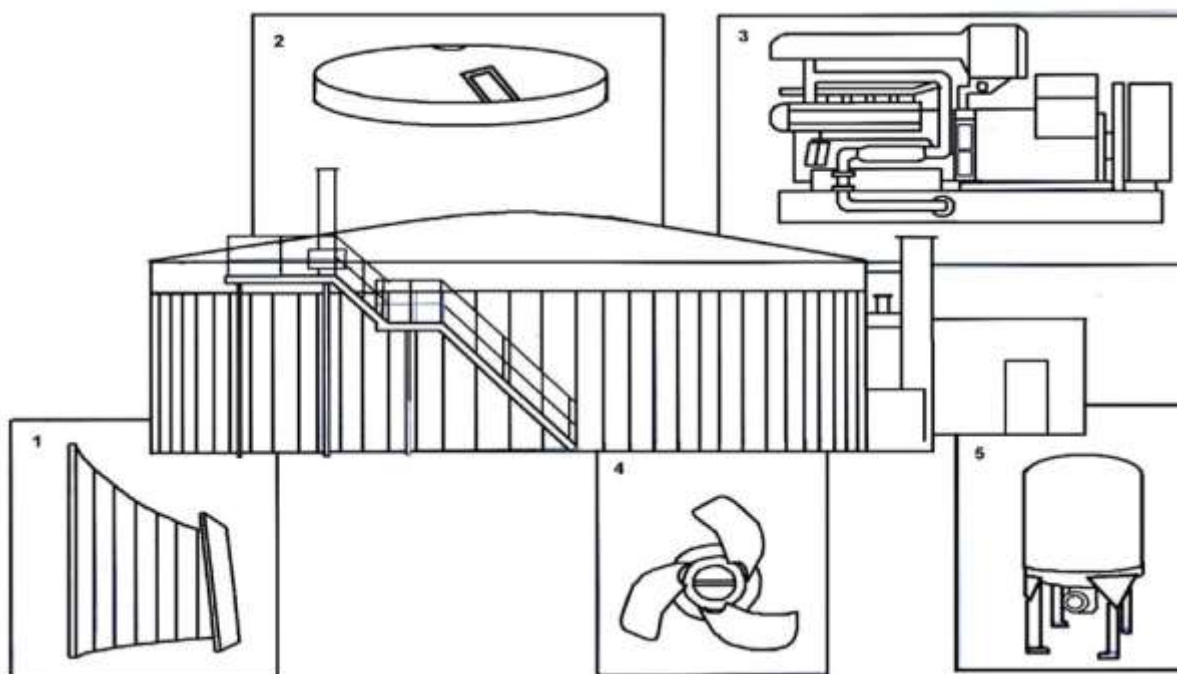
Улазни материјали се убацују у загрејане и топлотно изоловане уређаје за ферментацију направљене од армираног бетона где се врши ферментација без присуства ваздуха на температурама између 35 °C и 38 °C. Бактерије се шире кроз биомасу и ствара се гас који садржи метан. Овим биогасом може се покренути централно постројење за грејање и производњу електричне енергије [7].

Електричном и топлотном енергијом се може снабдевати локална енергетска мрежа, а преостали материјал се чува у резервоару за складиштење одакле се може директно употребити на пољопривредном земљишту или прерадити у компост и течно ђубриво. Практично све органске материје попут течног ђубрива, чврстог ђубрива, отпадне воде из канализације, био отпада и усева узгајаних за производњу енергије могу се користити за производњу биогаса. На слици 6. је приказана шема производње и дистрибуције енергије коришћењем биогаса.

Приликом пројектовања ових система најчешће се користе стандардне модуларне конструкције са модулима од 500 kWe, 1 MWe, 1,5 MWe, 3 MWe. Конструкције са компонентама које се производе у серијама нуде велике предности. Висок квалитет производа је обезбеђен захваљујући великој количини, стабилним и повољним ценама и што је најважније захваљујући ефикасној методи изградње за кратко време, коришћењем оптималног плана. На слици 7. је приказано постројење за производњу биогаса са његовим основним елементима.



Слика 6. Шема производње и дистрибуције енергије коришћењем биогаса [7]



Слика 7. Постројење за производњу биогаса са основним елементима [7]

Основни елементи биогасног постројења су:

1. Резервоар

У затвореном уређају за ферментацију, улазни материјали се ферментишу на температурама између 35 °C и 38 °C. У овој фази производи се гас са великим уделом метана.

2. Флексибилни кров

Кров који не пропушта ваздух и осигурава стабилне услове прераде.

3. Гасни мотор за производњу топлотне и електричне енергије

Гас из уређаја за ферментацију претвара се у топлотну и електричну енергију у мотору за производњу топлотне и електричне енергије.

4. Потапајући мотор уређаја за мешање

Положај потапајућег мотора уређаја за мешање може се подесити у резервоару тако да уједначено меша улазне супстанце брзинама од 300 до 400 o/min.

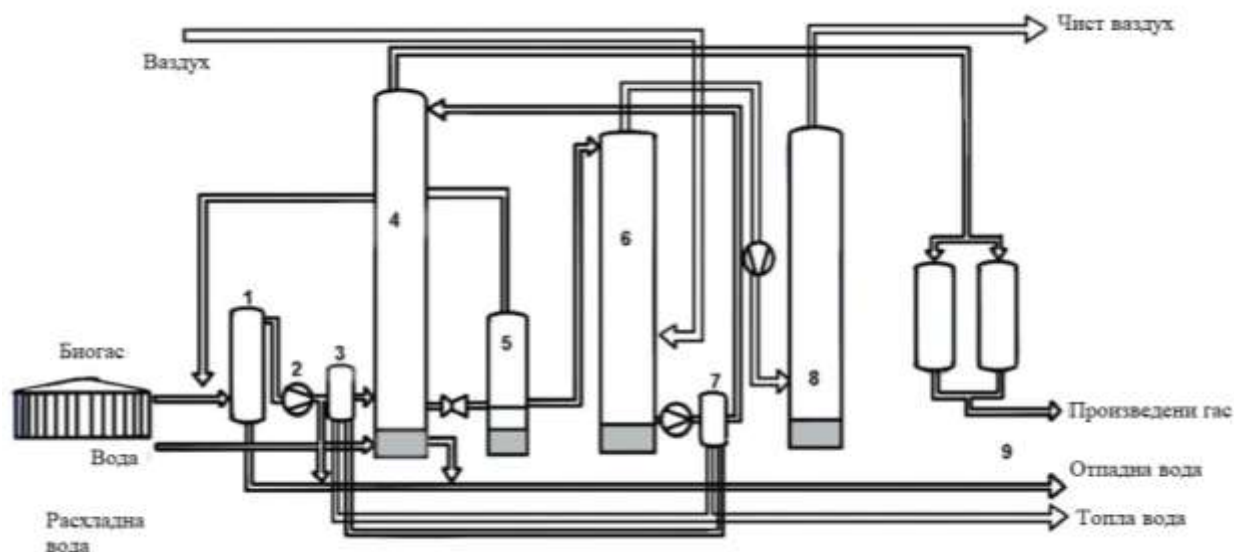
5. Резервоар за мешање

Ту се доводе, спајају, мере и предмешају улазни материјали и косупстрати пре него што се доведу у уређај за ферментацију.

Поред стандардних технологија, на тржишту се нуде и бројне атрактивне и еколошки повољне додатне технологије, помоћу којих се може знатно повећати продуктивност постројења. Технички додаци осигуравају већу производњу биогаса и отварају нове могућности за примену као и значајне изворе прихода [8].

Поред техничке опреме, супстрати представљају кључни фактор за принос и квалитет биогаса. Потребно је перманентно радити на побољшању узгоја и сетве усева за супстрате за производњу. Такође, постоји и могућност третирања биогаса да би се евентуално убацио у јавни гасовод. Нове технологије такође представљају велики корак ка независности од иностраних добављача и од употребе фосилних горива. У процесу третирања биогаса прво се компресијом отклања највећа количина угљен-диоксида, а затим се гас хлади. Након тога се угљен-диоксид и водоник-сулфид отклањају водом. Кроз процес третирања садржај метана у биогасу се повећава са око 55% на бар 97%. Прерађени биогас може се складиштити у постојећим резервоарима за гас и цевоводима убризгавати у постојећу мрежу. Тако се гас може користити где је потребно на самој локацији потрошача [9].

На слици 8. приказана је технолошка шема третмана биогаса.



Слика 8. Технолошка шема третмана биогаза [9]

- 1) Одвајање капљица, 2) Компресија, 3) Хлађење, 4) Апсорпција, 5) Растерећење притиска, 6) Десорпција, 7) Хлађење, 8) Третман излазног ваздуха, 9) Сушење

Третирање отпадне воде

У циљу оптималне искоришћености преостале отпадне воде нуди се иновативна и посебно ефикасна технологија. На слици 9. приказана је технолошка шема третмана преосталог ефлуента. У том процесу чврсте компоненте се деловањем центрифугалне силе одвајају од преостале отпадне воде. Та чврста материја садржи значајан удео фосфора која се може користити као компост и агенс за побољшавање квалитета земљишта. Из течног остатка добија се концентровано азот – калијумско ђубриво и вода која се после третмана може користити за пиће. Третирање отпадне воде смањује штетне емисије, штеди трошкове складиштења отпадне воде и смањује трошкове транспорта. Постројења су добра за животну средину и за остваривање профита [10].



Слика 9. Технолошка шема третмана преосталог ефлуента [9]

Отпадна топлота која се јавља у когенерационом постројењу може се искористити и за друге сврхе сем грејања. На пример, може се искористити за сушење пољопривредних производа, производа хемијске и прехранбене индустрије. На тај начин се производња биогаса чини профитабилнијом.

3.2 Постројења за обраду отпадних вода

Анаеробна дигестија се користи и за обраду отпадних муљева насталих аеробном обрадом отпадних вода. Примењује се у комбинацији са технологијом за пречишћавање комуналних вода. Текући остатак се може користити као ђубриво на пољопривредним површинама или за производњу енергије.

3.3 Постројења за сагоревање чврстог комуналног отпада

Сагоревањем чврстог комуналног отпада у спалионицама велики део енергије остаје неискоришћен. Удео органског отпада потребно је издвојити пре спаљивања јер има висок потенцијал за производњу биогаса. Промена уобичајеног тока органског комуналног отпада, односно одлагања (депоновања) или спаљивања, потребно је и пожељно заменити процесом рециклаже и враћањем дела хранљивих материја у сектор пољопривреде [5].

4. Правна регулатива

У оквиру глобалне иницијативе за смањење емисије штетних гасова и ефекта стаклене баште, као и ради очувања здраве животне средине, Влада Републике Србије је током 2009. године усвојила читав сет прописа којима се уређује производња енергије из обновљивих извора и утврдила feed-in тарифу која произвођачима електричне енергије из обновљивих извора омогућава да под повољним и гарантованим субвенционисаним условима продају електричну енергију „Електропривреди Србије“, у периоду од 12 година. Прва уредба из 2009. године донела је, за тај моменат стимулативну feed-in тарифу, тако да су у току 2010. године три инвеститора донела одлуку о изградњи електране на биогаз. Све три електране успешно су пуштене у рад током 2012. године и од тада власницима доносе константне и предвидиве приходе. Наредна уредба је донела нижу feed-in тарифу, па се у том периоду ниједан нови инвеститор није одлучио на овај вид улагања. Закон о енергетици из 2014. и 2018. године донео је читав низ мера и прописа који детаљно регулишу област обновљивих извора енергије, укључујући и сектор биогаза [11].

Као посебну погодност треба истаћи могућност стицања привременог статуса повлашћеног произвођача електричне енергије. Ова мера је била снажан подстицај за инвеститоре, јер је омогућила добијање повлашћеног статуса пре озбиљних инвестиција у технологију и постројење. Члан 70. Закона о енергетици дефинише који енергетски субјект може стећи статус повлашћеног произвођача електричне енергије, а члан 71. утврђује услове под којима је могуће стећи привремени статус повлашћеног произвођача електричне енергије. Уредбом из 2016. године, утврђена је до сада најстимулативнија feed-in тарифа што је довело до тога да је у периоду од 2016. г. до краја 2019. г. пуштено у рад још 16 биогазних електрана. Инвеститори су коначно препознали пословну и финансијску могућност коју је, пре свега, омогућио Закон о енергетици из 2014. године, уз пратеће прописе. Без ових подстицаја, одрживи развој производње енергије из обновљивих извора енергије не би био могућ. Ово се посебно односи на електране на биогаз, због цене сировина потребних за њихово функционисање. Национални акциони план за коришћење обновљивих извора енергије је документ којим су утврђени циљеви коришћења обновљивих извора енергије до 2020. године, као и начин за њихово достизање. Према овом плану, Србија је имала за циљ да се до 2020. године изграде електране на биогаз са когенеративним јединицама укупне инсталисане снаге 30 MWel. Планирано је да ова постројења производе 225 GWh електричне енергије, што је 6,2% од укупног износа планиране производње електричне енергије из обновљивих извора у Србији у 2020. години. Због свега наведеног, у Србији је све веће интересовање за производњу енергије из обновљивих извора процесом анаеробне дигестије из животињског стајњака, енергетских усева и њихових остатака, посебно у пољопривредним домаћинствима и на фармама у Војводини [11].

Кључни прописи за сектор обновљивих извора енергије су:

- Закон о енергетици ("Службени гласник РС", број 145/2014 и 95/2018.);
- Уредба о условима и поступку стицања статуса повлашћеног произвођача електричне енергије, привременог повлашћеног произвођача и произвођача електричне енергије из обновљивих извора енергије („Службени гласник РС“, бр. 56/2016, 60/17, 44/18 и 54/19);
- Уредба о висини посебне накнаде за подстицај у 2019. години („Службени гласник РС“, број 8/19);
- Уредба о висини посебне накнаде за подстицај у 2020.години („Службени гласник“, број 8/20);
- Уредба о подстицајним мерама за производњу електричне енергије из обновљивих извора и из високоефикасне комбиноване производње електричне и топлотне енергије („Службени гласник РС“, број 56/2016);
- Уредба о изменама и допунама уредбе о подстицајним мерама за производњу електричне енергије из обновљивих извора и из високоефикасне комбиноване производње електричне и топлотне енергије („Службени гласник РС“, број 60/17);
- Уредба о уговору о откупу електричне енергије („Службени гласник РС“, број 56/2016);
- Уредба о накнади за подстицај повлашћених произвођача електричне енергије („Службени гласник РС“, број 12/2016);
- Уредба о утврђивању методологије за одређивање цене снабдевања крајњег купца топлотном енергијом („Службени гласник РС“, број 63/15);
- Правилник о гаранцији порекла електричне енергије произведене из ОИЕ („Службени гласник РС“, број 24/2014);
- Правилник о енергетској дозволи („Службени гласник РС“, број 15/2015);
- Правилник о утврђивању слободног капацитета увећаног за вредност инсталисане снаге електрана за које је престао привремени статус повлашћеног произвођача („Службени гласник РС“, број 24/2015);

5. Биогасна постројења

5.1 Развој биогасних постројења у свету

Постројења за производњу биогаса за третман влажног отпада биомасе из постројења за пречишћавање отпадних вода и употреба гаса са депонија се све више користе у бројним земљама. Надоградња биогаса на висококвалитетни биометан се такође повећава, а који се користи као гориво или се врши његово убризгавање у мрежу природног гаса. У земљама у развоју биогас се углавном производи у малим дигесторима како би обезбедило гориво за кување или чак осветљење, у поређењу са развијеним земљама, где се развој биогаса фокусирао на дигесторе већих димензија, изграђене на фармама и комерцијално, као постројења за биогас која производе струју и грејање. Данас постоје различити програми подршке за производњу биогаса како би се изградила постројења за домаћинства да би се, као алтернативни извор енергије, обезбедио биогас за кување, смањила потрошња огревног дрвета и избегло крчење шума, смањило загађење ваздуха и побољшала плодност тла. Неколико земаља у Азији (Кина, Тајланд, Индија, Непал, Вијетнам, Бангладеш, Шри Ланка и Пакистан) имају програме за подршку домаће производње биогаса [12].

Процена је да је у Кини постојало 100.000 модерних постројења на биогас и 43 милиона малих дигестора у 2014. години, који су генерисали око 15 милијарде m^3 биогаса, што одговара 9 милијарди m^3 биометана (324 ТЈ примарне енергије). Средњорочни и дугорочни план развоја за обновљиву енергију захтевао је достизање до 2020. године око 80 милиона кућних постројења за биогас, 8.000 великих постројења са инсталисаним капацитетом од 3.000 MW и годишњом производњом биогаса од 50 милијарди m^3 . Потенцијал биогаса процењен је на 200-250 милијарде m^3 годишње. Последњих година изграђена су модерна биогасна постројења, са инсталираним капацитетом електричне енергије од 330 MW_{el} у 2015. години и 350 MW_{el} у 2016. години [12].

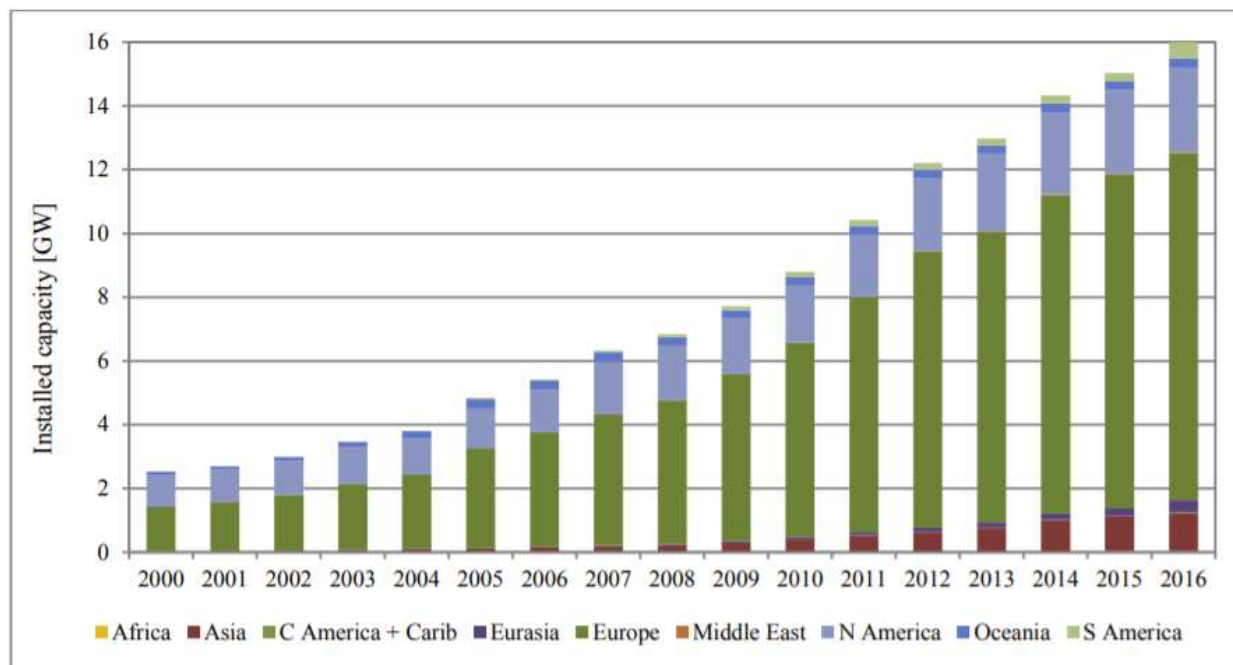
У Индији, Национални програм за управљање биогасом и стајњаком (NBMMР) промовише изградњу биогасних постројења мањих величина, за производњу горива за кување и органског ђубрива. 2014. год. било је око 4,75 милиона биогасних постројења величине фарме, у поређењу са потенцијалом за изградњу око 12 милиона биогасних постројења, који би могао да генерише више од 10 милијарди m^3 биогаса годишње (око 30 милиона m^3 /дан). Индија је планирала да инсталира 110.000 биогасних постројења од 2014. до 2019. До сада инсталирани електрични капацитет биогасних постројења је 179 MW_{el} у 2015. години и 187 MW_{el} у 2016. години [12].

Непал има један од најуспешнијих програма за биогас на свету, са више од 330.000 постројења на биогас у домаћинствима, инсталираним у оквиру Програма

подршке биогасу за обезбеђивање горива (гаса) за кување. У Вијетнаму програм искоришћења биогаса у сточарству започет је 2003. године са циљем развоја комерцијалног биогас постројења, што је довело до изградње 183.000 постројења на биогас на крају 2014. године. Национални програм за биогас и стајско ђубриво отворен 2006. за рурална подручја Бангладеша, резултирало је са око 36.000 дигестора на биогас који су инсталирани до краја 2014. и то пре свега за производњу гаса за кување. Процењује се да у земљи тренутно ради око 500-600 комерцијалних средњих до великих јединица на биогас. Постоји план за изградњу 100.000 малих биогасних постројења до 2020. Године, а план је био да се до 2017. године инсталира најмање 130 комерцијалних дигестора, са просечним капацитетом од 50 kW. Око 6.000 постројења на биогас постављена су на Шри Ланци и око 4.000 постројења у Пакистану [12].

У Африци су доступне велике количине отпада, али је производња биогаса и даље мање развијена него у другим регионима. Дигестори за производњу биогаса инсталирани су у неколико земаља (Бурунди, Боцвана, Буркина Фасо, Обала Слоноваче, Етиопија, Гана, Гвинеја, Лесото, Кенија, Намибија, Нигерија, Руанда, Сенегал, Јужна Африка, Уганда и Зимбабве). Национални програми се тренутно спроводе у Руанди, Танзанији, Кенији, Уганди, Етиопији, Камеруну, Бенини и Буркини Фасо. У Африци постоји Програм за биогас партнерство (ABPP), које је подржано и од стране Министарства спољних послова Републике Србије. Холандија и холандска развојна организација усмерена је на развијање националних програма за биогас у пет афричких земаља (Етиопија, Кенија, Танзанија, Уганда и Буркина Фасо) за изградњу 100.000 домаћих дигестора који ће обезбедити приступ енергији за пола милиона људи. Програм је довео до инсталације скоро 16.000 постројења у пет земаља (16.419 у Кенији, 13.584 у Етиопији, 13.037 у Танзанији, 6.504 у Уганди и 7.518 у Буркини Фасо). Афричка иницијатива „Биогас за бољи живот“ има за циљ да до 2020. обезбеди два милиона дигестора за биогас у домаћинствима који ће заменити традиционална горива за кување (дрво и угаљ) и обезбедити чисту енергију за кување за 10 милиона Африканаца. Процењено је да технички потенцијал биогаса у Африци омогућава изградњу 18,5 милиона постројења за домаћинству [12].

Инсталирани капацитети електрана на биогас у различитим регионима света приказани су на слици 10.

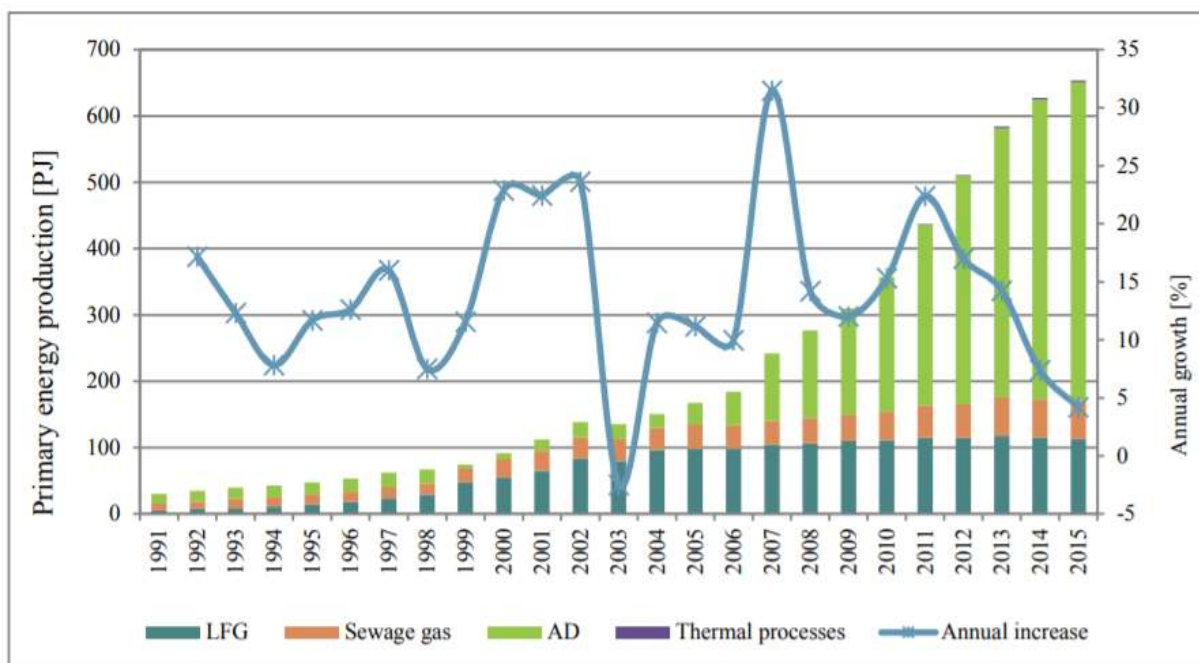


Слика 10. Инсталирани капацитети биогасних постројења за производњу електричне енергије [12]

5.2 Производња биогаса у Европи

Последњих година производња биогаса бележи значајан раст у Европи, углавном захваљујући повољним шемама подршке у неколико држава чланица Европске уније. У 2015. години укупна производња биогаса у Европској унији достигла је 654 PJ примарне енергије или више од 18 милијарди m^3 еквивалента природног гаса [20], као резултат дугорочног развоја (92 PJ биогаса произведеног у 2000. години, 167 PJ у 2005. години и 357 PJ у 2010. години) (слика 11). Док је учешће гаса са депонија у производњи биогаса готово константан током последње деценије, главни допринос расту у производњи биогаса је проистекао из анаеробне дигестије (АД) из органског отпада и пречишћавања отпадних вода. Биогас у ЕУ се углавном користи као гориво за производњу електричне енергије, или у когенерационим постројењима (топлотним и електричним). Најчешће се користе гасни мотори који могу постићи електричну ефикасност од 35-40%, у зависности од типа и величине мотора [12].

На слици 11 је приказана производња биогаса по годинама, као и извори настанка биогаса (депонијски гас, канализацијски муљ, анаеробна дигестија или термохемијски процеси). Водеће земље у производњи биогаса у ЕУ су Немачка, Велика Британија, Италија, Чешка и Француска. Немачка је европски лидер са производњом биогаса од 329 PJ и уделом од 50% у укупној производњи биогаса у ЕУ у 2015 (Слика 12).



Слика 11. Производња биогаза из примарне енергије у ЕУ [12]

Biogas production in Europe in 2015.

	Biogas production TJ	Biogas production mil m ³	Natural gas use mil m ³	Biogas share in natural gas use %
Belgium	9492	264	16,244	1.6
Bulgaria	820	23	3018	0.8
Czech Republic	25,681	715	7539	9.5
Denmark	6347	177	3317	5.3
Germany	328,840	9160	75,775	12.1
Estonia	550	15	454	3.4
Ireland	2287	64	4364	1.5
Greece	3826	107	3113	3.4
Spain	10,954	305	28,538	1.1
France	22,549	628	40,759	1.5
Croatia	1507	42	2421	1.7
Italy	78,355	2183	64,316	3.4
Cyprus	471	13	0	N/A
Latvia	3674	102	1277	8.0
Lithuania	981	27	2404	1.1
Luxembourg	739	21	900	2.3
Hungary	3335	93	8712	1.1
Malta	69	2	0	N/A
Netherlands	13,693	381	33,932	1.1
Austria	12,563	350	7998	4.4
Poland	9581	267	16,021	1.7
Portugal	3457	96	4738	2.0
Romania	767	21	10,380	0.2
Slovenia	1242	35	773	4.5
Slovakia	6223	173	4512	3.8
Finland	4321	120	2608	4.6
Sweden	7009	195	842	23.2
UK	94,303	2627	71,268	3.7
Switzerland	4591	128	3341	3.8
Iceland	69	2	0	N/A
Norway	1866	52	6268	0.8
FYROM	206	6	130	4.4
Serbia	242	7	2036	0.3
Moldova	401	11	855	1.3
Ukraine	600	17	30,311	0.1
EU	653,636	18,207	416,223	4.4
Europe	661,611	18,429	459,195	4.0

Слика 12. Производња биогаза у Европи 2015. године [12]

6. Предности производње биогаза

Предности производње биогаза су и пре свега: економске, еколошке и социјалне, као и могућност производње и искоришћења топлотне и електричне енергије. У наредном делу биће описана свака од њих.

6.1 Економске предности

Електрична енергија произведена помоћу биогаза откупљује се по подстицајној цени. Feed-in тарифе су предвиђене подстицајне откупне цене по произведеном kWh из (ОИЕ) које су усклађене са технологијом која се примењује и које Влада Републике Србије прописује на одређени временски период како би подстакла инвеститоре и смањила ризике. Feed-in тарифа за електране на биогаз се разликује у зависности од количине инсталисане снаге (P [MW]). Уколико је инсталисана снага до 0,2 MW подстицајна откупна цена (с€/kWh) је 15,66. Уколико је инсталисана снага од 0,2 до 1 MW цена је $16,498 - 4,188 \cdot P$, а када је преко 1 MW цена је 12,31. Будући да током тог периода откупна цена расте сразмерно кретању цена сировина и улазних трошкова, овај облик предузетништва један је од ретких код којих се веома брзо остварује повраћај инвестиционих улагања и стварање добити [13].

Табела 1. Feed-in тарифе у Србији [13]

Електране на биогаз	Инсталисана снага P (MW)	Подстицајна откупна цена (с€/kWh)
	до 0,2	15,66
	0,2 - 1	$16,498 - 4,188 \cdot P$
	преко 1	12,31
биогаз животињског порекла		12,31

Немачка промовише анаеробну дигестију од почетка 90-их, а ова земља је један од лидера у Европи по производњи биогаза и доминира на тржишту, не само по броју постројења, већ и по пруженим услугама и стручном кадру. У 2013. години, Немачка је имала у функцији укупно 9.035 постројења за биогаз, инсталиране снаге од 3.543 MW_{el}, од чега 87% (7.850 постројења) послују са пољопривредним сировинама, углавном енергетским усевама; 980 са канализацијским муљем и 205 постројења је са осталим подлогама (индустријска храна и пиће и биоотпад). Укупна

производња биогаза у 2013. износила је 65.731 GWh, са 24.419 GWh произведене електричне енергије и 34.762 GWh топлотне енергије. Од 9.035 постројења, 154 постројења су производила биометан. Сектор обновљиве енергије запошљава 363.100 људи, од чега 41.000 радних места су у сектору биогаза. У Немачкој, Закон о обновљивој енергији (ЕЕГ) има за циљ промоцију производње електричне енергије из обновљивих извора. По овом Закону постоји основна тарифа у зависности од величине постројења, са посебном тарифом за постројења до 75 kW (25 c€/kWh), као и додатна тарифа у зависности од врсте подлоге (тип 0, 1 и 2). Категорија сировине ознаке 0 је биомаса чија употреба не омогућава било које право на накнаду: стари хлеб, остаци хране, житарице (јаловина), житни отпад, зелене резнице из приватног и јавног одржавања вртова и паркова и зелена трава. 27. јуна 2014. Немачка је ревидирала Закон о обновљивим изворима енергије (ЕЕГ) где се позитивни аспекти новог ЕЕГ-а односе на подручје малих постројења која производе биогаз из стајњака и биоотпада. Треба истаћи две кључне тачке овог Закона: повећање производње биогаза у Немачкој биће ограничено на 100 MW годишње и feed-in тарифа је постепено повучена из свих нових постројења изнад 100 kW. Овај нови Закон ступио је на снагу јануара 2015 [14].

У Италији укупна инсталирана снага постројења на биогаз је 1.105 MW_{el}. Производња електричне енергије у 2013. години износила је 8.890 GWh а топлотне 11.110 GWh. Производња биометана је започела са 2 погона у 2013. год., док је овај сектор отворио 3.670 нових радних места [14].

Табела 2: ЕЕГ 2012, Тарифна структура за постројења на биогаз [14]

Основна тарифа	ЕЕГ 2012
≤ 150 kW	14.30 c€
≤ 500 kW	12.30 c€
≤ 5 MW	11.0 c€
≤ 20 MW	6.0 c€
≤ 75 kW - специјална тарифа за постројења која користе више од 80% стајњака	25.0 c€

У Француској се први пут успоставља систем feed-in тарифа 2006. године. Међутим, сектор биогаза у Француској споро се развија. У 2013. години било је 610 постројења за производњу биогаза са 309 дигестора и 301 депонија. Дигестија се одвијала у 140 постројења са супстратима из пољопривреде, 60 постројења је радило са канализационим муљем и 109 са осталим отпадом (индустријска храна и пиће и биоотпад). Укупни инсталирани електрични капацитет у 2013. години био је 259 MW_{el}. 2013. године у погону су била четири постројења за биометан и отворено је 1.700 радних места [14].

У Француској, feed-in тарифа зависи од инсталираног капацитета, врсте подлоге и употребе топлоте. Основна тарифа се креће између 13,37 с€/kWh за инсталирани капацитет нижи од 150 kW и 11,19 с€/kWh за инсталирани капацитет већи од 2.000 kW (Табела 3). Овој основној тарифи може се додати бонус који фаворизује употребу животињског отпада у малим пољопривредним постројењима. Заправо, максимална премија је за постројења чија је снага мања од 300 kW а која користи више од 60% животињског отпада. Не постоји бонус за постројења чија је снага већа од 1.000 kW. Такође, се може додати бонус који зависи од употребе топлоте. Максимални бонус је када је енергетска ефикасност већа од 70%, а не даје се бонус када је енергетска ефикасност нижа од 35% [14].

Табела 3. Основна тарифа према инсталираном капацитету у Француској [14]

Максимални капацитет	Основна цена (с€/kWh)
≤ 150 kW	13.37
300 kW	12.67
500 kW	12.18
1.000 kW	11.68
≥ 2.000 kW	11.19

6.2 Еколошке предности

Еколошки разлози су они који биогасна постројења чине занимљивим за јединице локалне самоуправе због очувања и заштите животне средине. Поред чињенице да биогасно постројење, захваљујући производњи енергије из обновљивих извора, знатно доприноси очувању околине, треба истаћи и могућност прераде органског отпада. У биогасним постројењима може се прерађивати, како органски отпад из домаћинства и угоститељских објеката, тако и из локалне прехранбене индустрије. Као сировина може послужити и отпадни муљ из пречишћене отпадне воде. Сав наведени отпад знатно оптерећује околину, а његово збрињавање је повезано са великим трошковима и проблемима везаним за законску регулативу. Биогасна постројења не само да омогућавају прераду таквог отпада већ и остварују годишњу добит производњом, односно продајом биогаса или електричне енергије која се добија сагоревањем биогаса у когенерацијским јединицама [15].

6.3 Социјални разлози

Ништа мање није значајан и допринос биогасног постројења побољшању општег социјалног стања на подручју коришћења. Поред чињенице да ће због смањења онечишћења наићи на позитиван одјек код локалног становништва, треба истаћи и могућност сарадње са локалним пољопривредницима. Будући да

коришћење пољопривредних усева увелико повећава ефикасност и стабилност процеса производње биогаса, откупом усева не само да се побољшавају производни и економски параметри, већ се пољопривредницима обезбеђују редовни приходи са дугорочном перспективом. Биогасно постројење отвара простор за сарадњу и омогућава даљу прераду остатака, који заправо представљају изузетно квалитетно ђубриво, осигурава се социјална стабилност, очување радних места у микрорегији, а пре свега ојачавају се добри односи унутар локалне заједнице. Томе би засигурно допринела и могућност коришћења јефтине отпадне топлотне енергије.

6.4 Коришћење топлоте

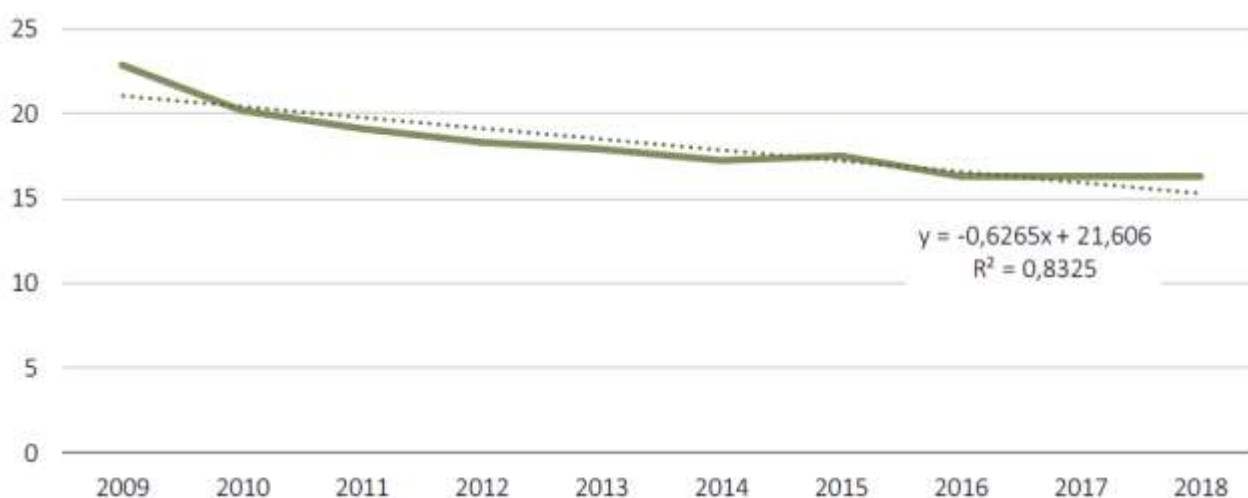
Топлота у биогасном постројењу настаје као нуспродукт при производњи електричне енергије. Тако настала јефтина топлота може се користити у разне сврхе, зависно од конкретних услова и потреба - нпр. за грејање породичних кућа, станова и јавних зграда, као извор топлотне енергије за локалну предузетничку или индустријску зону или објекте попут базена и пливалишта. Топлота се може понудити и локалним пољопривредницима, на пример, за грејање у пластеницима и стакленицима или за потребе сушења (житарице, дрво ...). Све то наравно додатно побољшава економску исплативост постројења [15].

6.5 Употреба биогаса у когенерацијским постројењима

Најзаступљенија технологија употребе биогаса је у когенерацијским јединицама за производњу електричне и топлотне енергије. Будући да су когенерацијске јединице покретане најчешће моторима са унутрашњим сагоревањем, потребно је биогас осушити и кондиционирати. Укупна искоришћеност когенерацијских постројења је од 85 до 90%. Ваља напоменути да на производњу електричне енергије отпада око 35%, док на топлотну енергију око 65%. Мотор са унутрашњим сагоревањем је повезан са генератором за производњу електричне енергије. Мотори су гасни те раде на принципу ото или дизел мотора. Произведену електричну енергију је најповољније испоручивати у мрежу у земљама где постоје повољне цене за откуп електричне енергије произведене из обновљивих извора енергије (feed-in тарифе). Електричну енергију за рад постројења је повољније куповати из мреже од дистрибутера. За коришћење топлотне енергије врло су погодна индустријска постројења у којима се одвијају процеси сушења, као и за грејање пластеника у пољопривреди. На крају се може користити за грејање и хлађење неког стамбеног подручја што је додатна инвестиција. Лети се могу користити апсорпциони расхладни уређаји који користе отпадну топлоту за добијање расхладне енергије [15].

7. Опис биогаз постројења на живинској фарми

Према републичком заводу за статистику у Републици Србији се живинарством бави 59,7% пољопривредних газдинстава (340.000), а укупан број живине је 23,2 милиона. Ово представља пад од 17,8% у броју газдинстава и 13,2% у броју живине у односу на 2012. годину. Према подацима годишњег истраживања о сточарству, број живине је у константном опадању од 2009. до 2018. године. Линеарна процена тренда показује да број живине у просеку опада за око 626,5 хиљада годишње (Граф. 1). Уколико се оваква динамика настави, очекује се да ће у години следећег Пописа пољопривреде (2022.) бити регистровано око 12,8 милиона грла живине. Живинарство је најзаступљеније у региону Војводине и региону Шумадије и Западне Србије, у којима се гаји 43,4% и 40,7% укупног броја живине у Републици Србији редом. Оно је знатно заступљено у региону Јужне и Источне Србије (12,6%) и београдском региону (3,3%). Код ових региона је, у односу на податке из Пописа пољопривреде, дошло до великог пада у броју живине, 31,3% и 37% (Табела 4) [1].

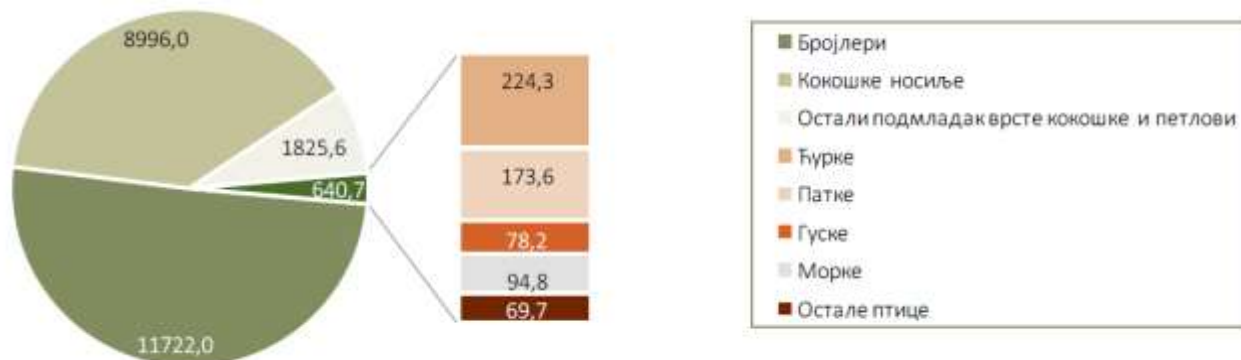


Граф. 1. Укупан број грла живине у Републици Србији, 2009–2018. (мил.) [1]

Табела 4. Број грла живине и број газдинстава, 2012. и 2018.[1]

	2012		2018	
	број грла	број газдинстава	број грла	број газдинстава
РЕПУБЛИКА СРБИЈА	26 710 921	413 778	23 184 387	339 967
СРБИЈА - СЕВЕР	13 182 455	114 103	10 815 237	92 655
Београдски регион	1 209 997	21 591	763 388	18 650
Регион Војводине	11 972 458	92 512	10 051 849	74 004
СРБИЈА - ЈУГ	13 528 466	299 675	12 369 150	247 312
Регион Шумадије и Западне Србије	9 270 479	173 104	9 443 808	148 772
Регион Јужне и Источне Србије	4 257 987	126 571	2 925 342	98 540

Најчешће гајена врста живине су кокошке, које чине 97,2% укупног броја живине у Републици Србији. Знатно мање су заступљене ћурке, патке, гуске и остале птице. Нешто више од половине свих кокошака чине бројлери (51%), а затим следе кокошке носиље (40%) (Граф 2) [1].

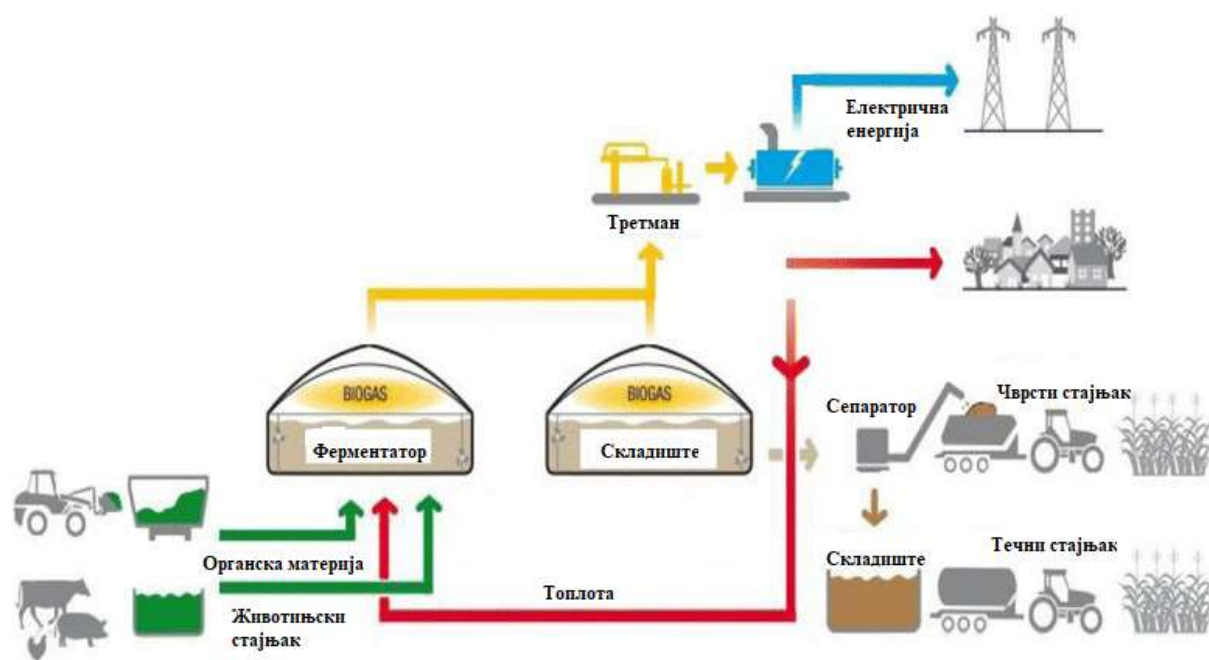


Граф. 2. Структура грла живине (вредности у хиљадама) [1]

Ниво специјализације газдинстава, мерен према типологији, нешто је нижи у односу на податке из Пописа пољопривреде, у смислу да се 14,6% мањи број грла живине гаји на газдинствима која су у неком виду специјализована за живинарство, као и да је удео грла која се гаје на специјализованим газдинствима опао за 1%. На специјализованим газдинствима је регистровано 14 милиона грла живине, односно

60,2% укупног броја грла живине. Од тога је 68% регистровано на газдинствима специјализованим за бројлере, 28,9% на газдинствима специјализованим за кокошке носиље, а 3,1% на газдинствима специјализованим за кокошке носиље и бројлере комбиновано. Газдинстава која су у неком виду специјализована за живинарску производњу има 5,1 хиљада и чине 1,5% живинарских газдинстава [1].

Биогас постројење (Слика 13) представља комплексан систем, који се састоји од различитих компоненти. Постоје различите технике и технологије за обраду различитих врста сировина, односно системи који могу функционисати на различите начине [3].



Слика 13. Биогасно постројење [3]

Избор типа и дизајна биогасног постројења првенствено зависи од расположивих сировина. Количина сировине одређује величину дигестора, капацитет складиштења и когенерационо постројење. Квалитет сировина (садржај суве материје, структура, порекло ...) одређује технолошке процесе. Произведен биогас користи се за производњу енергије.

7.1 Јединица за пријем

Ова јединица је важан део целог система за рад постројења. Неопходно је да се обезбеди довољна количина сировина одговарајућег квалитета. Пилећи измет је потребно да остане у овој јединици 1-2 дана, а затим се транспортује (пумпа) у биореактор на хидролизу. Супстрат је разблажен водом, мешан, загреван и одржаван на температури од 25°C [3].

7.2 Реактор за хидролизу

Након задржавања у пријемној јединици од 1 до 2 дана, пилећи измет се транспортује у реактор на хидролизу. Чува се 8 до 10 дана под посебним условима. Мора се одржавати температура између 25 и 28°C и вршити контрола влаге и рН вредности. Производ се хидролизује, угљен-диоксид (CO_2) се испушта у атмосферу или сакупља у гасној комори. За бржу хидролизу потребно је загревање, мешање и додавање воде [3].

7.3 Систем пуњења

Из реактора за хидролизу, супстрат се мора транспортовати до ферментора. Згодан начин за транспорт је помоћу пумпи. Најчешће се користе две врсте пумпи:

- центрифугална или
- потисна.

Центрифугалне пумпе (слика 14) су често потопљене, али се могу поставити и на суве осовине поред ферментора. Потисне пумпе се обично користе за транспорт течности и супстрата са већим садржајем суве материје. Оне су стабилније у смислу центрифугалног притиска и због тога могу да обезбеде већу количину снабдевања [3].



Слика 14. Центрифугална пумпа [3]

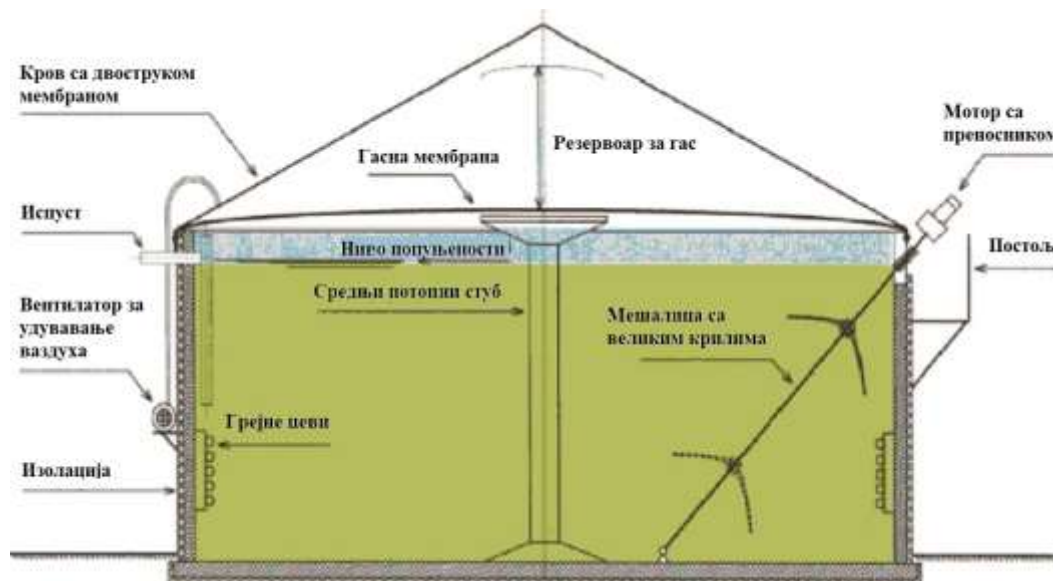
7.4 Ферментор

Из реактора за хидролизу се сировина пумпа у ферментор где се одвија анаеробна дигестија и производи биогаз. Сировина остаје у дигестору 30 до 40 дана где се меша и загрева на температуру од 35 до 38°C. Ферментор је контејнер који се састоји од система за пуњење супстрата и система за биогаз и дигестију. Зато што висока температура где се одвија анаеробна дигестија захтева добру изолацију и систем за загревање у ферментору, ферментори могу бити направљени од различитих материјала као што су су: бетон, челик, цигла или пластика. Могу бити смештени испод или изнад земље. Избор конструкције и врсте одређују се пропорцијом суве материје у супстрату, а њена величина утиче на величину биогаз постројења [3].

Постоје три типа ферментора:

- вертикални,
- хоризонтални и
- са више резервоара.

Најчешћи тип ферментора је вертикалан. Они су у облику заобљених складишта од челика или армираног бетона и често имају конкавно дно за лакше мешање и пражњење исталоженог муља. Морају се загрејати, изоловати, херметички затворити и опремити блендерима или пумпама. Ако је њихов кров од бетона или челика онда је потребно повезати га са резервоаром за биогаз, и ако њихова мембрана на крову није затворена, потребан је резервоар за биогаз јер ферментор служи као складиште за производњу биогаза. Ферментор од армираног бетона је довољно непропустан за гас јер је бетон засићен влагом која се налази у води сировине и биогаза. Бетонска складишта могу се потпуно или делимично поставити на тлу. Челични ферментори се инсталирају на бетонски темељ и морају бити заварени или причвршћени завртњима [3].



Слика 15. Ферментор са потпуним мешањем, са мешалицом, дугачким вратилом и другим уградним елементима [3]

Ферментори (Слика 15) се конструишу или од челика, нерђајућег челика или армираног бетона. Армирани бетон услед засићења водом постаје довољно гасно непропусан, при чему је вода која је за то потребна садржана у супстрату и биогазу. Ферментори се на лицу места изливају од бетона или састављају од префабрикованих елемената. Код бетонских резервоара постоји могућност, ако то дозвољавају карактеристике тла, да се у целини или делимично укопају у земљу. Кров резервоара може бити изведен од бетона, код укопаних резервоара и проходан за возила, при чему се биогаз складишти у екстерном резервоару за гас. Ако ферментор истовремено треба да послужи и као резервоар за гас, користе се гасно непропусни мембрански кровови. Код одређене величине резервоара је у случају бетонских кровова потребно предвидети средњи потпорни стуб. Код нестручно изведеног решења постоји опасност од формирања пукотина на крову. У прошлости је често долазило до формирања пукотина, незаптивености и корозије бетона, што је у екстремном случају доводило до рушења ферментора [3].

7.4.1 Мешање

Добро мешање садржаја ферментора мора бити осигурано из неколико разлога:

- инокулација свежег супстрата путем контакта са биолошки активном течношћу у ферментору,

- равномерна дистрибуција топлоте и хранљивих материја унутар ферментора,
- избегавање и разбијање седиментних и пливајућих слојева,
- добро издвајање биогаза из ферментационог супстрата.

До минималног мешања ферментационог супстрата долази уносом свежег супстрата, струјањем услед термичке конвекције и подизањем гасних мехура. Међутим, то пасивно мешање није довољно, због чега процес мешања мора активно да се потпомогне. Мешање може да се спроводи путем механичких уређаја у ферментору, као на пример мешалицама, хидраулички помоћу пумпи које се налазе изван ферментора или пнеуматски путем удубавања биогаза у ферментор [16].



Слика 16. Ферментор од нерђајућег челика у изградњи [16]

Мешалице раде континуално или интермитирано. У пракси се показало да интервали мешања емпиријски морају да се прилагоде специфичним карактеристикама сваког биогаз постројења, као на пример својствима супстрата, величини ферментора, тенденцији ка формирању пливајућег слоја итд. Непосредно по пуштању постројења у рад се, сигурности ради, меша дуже и чешће. Стечена искуства се затим користе за оптимизовање дужине и учесталости интервала, као и подешавање мешалица. Овде могу да се примене различити типови мешалица [16].

7.5 Складиштење биогаза

Гасни резервоари (Слика 17) су направљени да компензују варијације у производњи и потрошњи биогаза. Већ је поменуто да ферментори са мембраном, која је непропусна за гас, могу играти улогу резервоара за гас, али одвојени велики резервоари за биогаз изграђени су као засебна постројења. Димензионисање бунара значајно доприноси ефикасности и сигурности биогаз постројења. Контејнери

морају бити непропусни за гас и сигурносни вентили морају гарантовати сигурност у случају експлозије или пожара. Сва биогаз постројења морају имати сигурносну бакљу, док је капацитет резервоара најчешће за производњу биогаза за један или два дана. Биогаз настаје у променљивим количинама и повремено са пиковима у производњи. Из тог разлога и због претежно константне потрошње, мора привремено да се складишти у, за то погодним резервоарима. Резервоари за гас морају бити гасно непропусни, отпорни на притисак, медијум, УВ-зрачење, температуру и временске прилике. Пре пуштања у рад треба испитати херметичност резервоара за гас. Резервоари за гас из безбедносних разлога морају да се опреме сигурносним вентилима за натпритисак и потпритисак, да би се спречила недозвољена висока промена унутрашњег притиска у резервоару. Контрола вентила за натпритисак у погледу учесталости активирања добија све више на значају, да би се смањила висина погонски условљених емисија преко тог сигурносног уређаја [16].



Слика 17. Складиштење биогаза [16]

7.6 Супстрат

7.6.1 Припрема супстрата и системи пуњења

Када је постројење изведено као отворено, односно гасно пропусно, као и код отвореног манипулисања органским ђубривима и рецикулације остатака ферментације изван гасно непропусно затворених сектора постројења, начелно може да дође до повећане опасности од емисија које додатно могу да се повећају неповољним режимом рада [17].

7.6.2 Отворене фазе хидролизе, предјаме и резервоари за разређивање

Отворено изведене фазе хидролизе у погледу заштите од емисија штетних гасова треба сагледати критички. Гас добијен хидролизом поред главне компоненте угљен-диоксида (CO_2), по правилу садржи и значајне количине водоника (H_2) и метана (CH_4), као и трагове амонијака (NH_3) и водоник-сулфида (H_2S). Са аспекта климатске заштите проблематичне су пре свега емисије метана. Оне се претежно јављају код режима рада у опсегу неутралне рН вредности, што значи у случају коришћења пуферских супстрата, као на пример органског ђубрива или рецикулата из остатка ферментације. Тада може да се јави повећана опасност од експлозије (CH_4 , H_2) и гушења (CO_2 , H_2S). Пре свега суседни објекти, као и пумпне станице, морају да поседују довољну принудну вентилацију и евентуално буду опремљени алармним уређајима. То важи, пре свега, ако су са резервоаром за хидролизу повезани гасно непропусним арматурама. Код самих резервоара за хидролизу је ризик од појаве опасних концентрација наведених гасова посебно велик у случају претежно затворених, али не и гасно непропусних изведби или код дисконтинуалног рада мешалица. То може да доведе до изненадног ослобађања гасова. Економски губици настају респирацијом (CO_2 и топлота), као и губитком горивих гасова (CH_4 , H_2). Емисије непријатних мириса могу бити изазване различитим органским материјама, пре свега масним киселинама, а осим тога и већ наведеним гасовима у траговима, H_2S и NH_3 . Тренутно није могуће проценити под којим условима (на пример: време задржавања у хидролизи, унос ваздуха или пуферско дејство рецикулата, односно течног стајњака) потенцијалне предности надмашују горе наведене недостатке.. Значај постројења која поседују фазу хидролизе је по свој прилици мали [17].

У предјамама и резервоарима за разређивање се углавном течном органском ђубривом, односно рецикулатом, меша са чврстом материјом и хомогенизује. У току потребног мешања, пре свега у случају коришћења рецикулата, обично се ослобађају повећане количине метана. Ради визуелне контроле непожељних материја (пре свега код постројења за отпад) могу да се као систем за пуњење користе предјаме и резервоари за разређивање. Међутим, тада би разређивање требало да се врши без рецикулата, јер долази како до издвајања метана ослобођеног мешањем, као и до микробиолошког формирања новог метана и његовог ослобађања [17].

7.6.3 Пуњење чврсте материје

Код пуњења чврсте материје у зависности од супстрата може доћи до емисије непријатних мириса из отворених складишних резервоара. Да би се то спречило, у случају коришћења супстрата са интензивним мирисима (на пример екскременти перади), погодни су системи за покривање који омогућавају отварање у току пуњења. Битно је да постоји чврста подлога која може лако да се чисти, добра приступачност и прикључак за воду. Тако је након потребног редовног пражњења резервоара омогућено лако чишћење мртвих углова. Чврсте материје се углавном

уносе преко транспортних пужева који се окрећу у цеви потопљеној у ферментациону течност. У случају сувише ниских нивоа напуњености, преко система за унос супстрата може не приметно да се ослобађа биогаз. Стога увек треба водити рачуна о довољном нивоу напуњености у ферментору.

Управо пуњење чврсте материје и складиштење супстрата спадају у секторе биогаз постројења који производе највећу буку. Због тога је приликом просторног распоређивања потребно водити рачуна о положају у односу на суседне објекте и пејзажне елементе који могу да апсорбују буку, као и о правцу ветра. Код већих постројења у близини стамбених зона препоручује се процена утицаја буке од стране вештака, што је често и предуслов за добијање дозволе [17].

7.6.4 Складиштење остатка ферментације код континуалног поступка

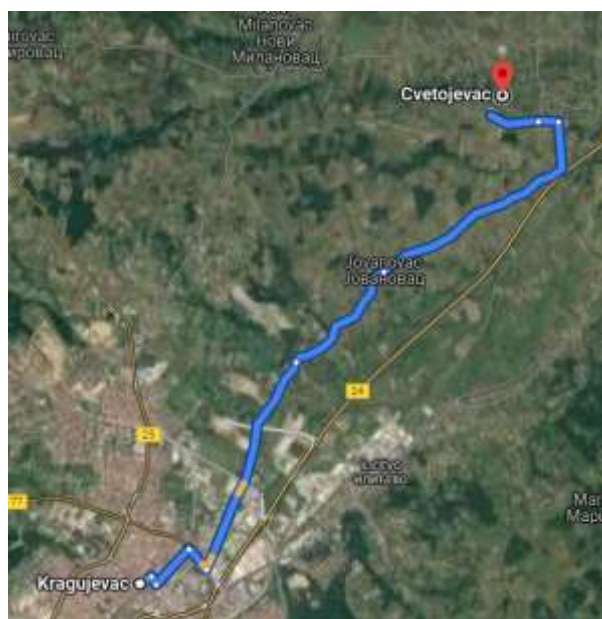
Приликом складиштења остатка ферментације, емисије углавном настају у случају коначних складишта која су отворена, односно нису гасно непропусно покривена. Емисије метана које се ослобађају из складишта у просеку могу да износе до 3,5% произведеног метана. Осим тога, ферментација супстрата богатих азотом (на пример, суви екскременти перади) може да доведе до високе емисије амонијака. Постојењима базираним на чистом течном стајању начелно није потребно гасно непропусно покривање складишта за остатак ферментације, пошто степен ферментације преузима функцију смањења емисија у поређењу са конвенционалним складиштењем течностног стајања. Мала биогаз постројења у којима се користе обновљиве сировине, односно мешавине са обновљивих сировинама, требало би начелно да поседују гасно непропусно затворено складиште. Нова постројења морају да се придржавају ретенционог времена од 150 дана у гасно непропусном систему. За стара постројења препоручује се минимално време задржавања у ферментору од преко 110 дана, или технички морају бити загарантоване максималне емисије преосталог гаса од 1%. (Утврђено помоћу шаржних експеримената при ретенционом времену од 60 дана и температури од 20°C), да не би било потребно гасно непропусно складиштење, иначе треба предвидети 150 дана у гасно непропусном систему. За разлику од тога, за гасно непропусно покривена складишта за остатак ферментације, по правилу, нису доказане емисије, са изузетком дифузије гаса кроз мембране, као и дифузивних цурења. Према актуелном стању технике, код нових постројења, складишта за остатак ферментације морају бити конструисана гасно непропусно уз интеграцију у гасну рампу, ако се не ферментује искључиво течни стајањак [17].

7.6.5 Складиштење дигестата

Ферментисани супстрат (дигестат) се пумпа из ферментора у контејнере за дигестат. Капацитет складиштења дигестата мора бити довољан да се прихвати производња дигестата од 6 до 9 месеци. Може се похранити у бетонске резервоаре који су прекривени природним или вештачким плутајућим слојевима или мембране или лагуне. Даља производња је могућа током складиштења дигестата и контејнери треба да буду покривени мембранама које су непропусне за биогаз. Изложени објекти за складиштење морају увек имати барем један плутајући слој који покрива површину дигестата како би се створила препрека за емисије амонијака и метана [17].

8. Живинарска фарма

Живинарска фарма која је анализирана у раду се налази у селу Цветојевац, удаљеном око 10-ак километара од Крагујевца. У домаћинству, живинарством се баве већ две генерације. На слици 18 је приказана локација фарме.



Слика 18. - Локација фарме у односу на град Крагујевац [20]



Слика 19. - Сателитски поглед на фарму [20]

8.1 Капацитет фарме

Фарма се састоји од једног објекта, који има површину 660 m^2 . То је приземни објекат који се састоји од две просторије и купатила а остатак служи за узгој перади. Правилна густина насељености је од суштинског значаја за успех у бројлерској производњи јер се осигурава одговарајући простор за оптималне резултате. Препоручена густина насељености за наше услове је око 30 kg живе мере на m^2 подне површине ($10\text{-}15$ пилића по m^2 у зависности од циљне тежине на клању), што доводи до тога да је капацитет пилића на фарми око 7.000 пилета по турнусу. Уколико у току године буду 4 турнуса, то је 28.000 пилета на годишњем нивоу [18].

8.2 Електрична енергија

Потрошњу електричне енергије на фарми перади можемо поделити на:

- Осветљење
- Транспорт хране
- Транспорт воде
- Грејање и
- Вентилацију.

Према вишегодишњим искуствима домаћина и на основу рачуна за електричну енергију укупна потрошња на годишњем нивоу целокупне фарме је 12.506 kWh . У укупну потрошњу спадају расвета, мотор за транспортовање хране, мотор за транспортовање воде, мотор који покреће пећ за грејање и вентилација.

Расвета - За унутрашње и спољашње осветљење користе се ЛЕД сијалице. Лед сијалице су 13 W , и раде 24h дневно. У објекту има 50 ЛЕД сијалица и на годишњем нивоу за расвету се потроши 5.694 kWh .

Топлота – Потребна количина топлоте по јединки зависи од времена кад је турнус пилића. Уколико је турнус у зимском периоду, потребна је већа количина топлоте. За први турнус по јединки потребно је $1,9 \text{ W}$, што је укупно за 7.000 пилића 13.300 W . Просечно за четири турнуса у години потребно је око 53.200 W топлоте на годишњем нивоу.

За грејање објекта се користи пећ на дрва и за турнус је потребно 7 m^3 дрва у просеку, што значи да је на годишњем нивоу потребно 150.000 динара за огрев.

Потрошња воде – Просечна дневна потрошње воде за једну јединку је $0,15 \text{ l}$, што је 1.050 l за 7.000 пилета дневно. За један турнус потребно је 94.500 l воде, пошто имамо 4 турнуса потрошња воде је 378.000 l , односно 378 m^3 . Тренутна цена воде је 55 динара по m^3 , па је потрошња воде на годишњем нивоу је 21.000 динара.

8.3 Неодрживост у процесу узгајања пилаци

Након три месеца, када се заврши део узгајања и када се испразни објект од пилића, настаје проблем ђубрива у фарми. Углавном се то ђубриво односи на пољопривредна земљишта (Слика 20) како би им се побољшао квалитет. Међутим, пошто је стајско ђубриво од пилаци веома јако, ако се превише одлаже неће бити повољно за житарице које се ту узгајају. Није то једини проблем. У летњим месецима, долази до испаравања и до непријатних мириса, што представља велики проблем уколико се у близини налазе друга домаћинства.



Слика 20. Ђубрење пољопривредног земљишта [18]

Досадашње неконтролисано одлагање отпада више није прихватљиво, па је у многим земљама спроведено одрживо управљање отпадом које подразумева и спречавање његовог настанка и смањење нових количина. Спаљивање органског отпада више не представља прикладан начин његовог збрињавања, па се као могуће решење јавља производња биогаса. Производња биогаса је оптимални процес за третирање животињског измета, као и различите врсте органског отпада, будући да се тиме ови супстрати претварају у обновљиву енергију и еколошки прихватљиво ђубриво у пољопривреди. У анаеробним реакторима, званим дигестори или ферментори долази до производње биогаса помоћу микробиолошких процеса разлагањем органских материја без присуства кисеоника. Такав микробиолошки процес, који је уобичајен у природном окружењу, зове се анаеробна дигестија или ферментација. У процесу анаеробне разградње деловањем различитих врста микроорганизама настају два главна производа, а то су биогас и дигестат. Биогас је запаљиви гас који се састоји од метана, угљен- диоксида и осталих гасова. Дигестат је анаеробно разграђен супстрат, богат макро и микро нутријентима што га чини

прикладним биљним ђубривом. Биогасна постројења која прерађују сировине из пољопривреде представљају једну од најважнијих примера анаеробне дигестије. Биогас представља јефтин и CO₂ неутралан извор обновљиве енергије, који даје могућност прераде и рециклирања разних пољопривредних остатка и споредних производа на одржив и еколошки прихватљив начин. У биогасним постројењима биогас се може пречишћавати и одводити у гасовод или се одводи у посебан резервоар биогаса, те се спаљује у котлу, мотору с унутрашњим сагоревањем или когенерацијској јединици при чему настаје електрична енергија и топлота. Биогас са собом повлачи и бројне социо-економске користи за друштво као целину, али и за оне који су укључени у његову производњу и коришћење. Свакодневно расте број пољопривредних биогасних постројења, те је све више произвођача биогаса који ће имати користи од имплементације технологија за производњу обновљиве енергије, што доприноси решавању важних проблема загађења и околине и пружа подршку одрживом руралном развоју, а тиме и пољопривредном сектору.

9. Потенцијал за производњу биогаса

Анализирајући стање на фарми, референтна величина за прорачун је јединица условних грла (1UG=250-320 кока носила). За прорачун је узета просечна тежина животиње у неком средњем периоду (ни тек на почетку узгоја, нити при клању од 1,5 kg, тј. као референтна величина за прорачун јединица је узета мера од 500 kg живе ваге.). У овом поглављу је анализирана могућност добијања биогаса на фарми где би се користио кокошји стајњак. У Табели 5 дати су подаци за дневну продукцију стајњака различитих животиња које се најчешће узгајају на фармама, а од чијег се стајњака може производити биогаз.

Табела 5. Просечна дневна производња стајњака за тип животиње који се узгаја на фармама [18]

	Маса животиња (kg)	Укупна количина стајњака (kg/дан)
Краве	500	39 - 42
Товне свиње	100	6,5
Бројлери	1,8	0,1134

Биогаз је мешавина метана (CH_4) - 60 до 75%, угљендиоксида (CO_2) -25 до 40% и азота (N_2) -2 до 8%. Мање количине, увек присутне у биогазу су сумпорводоници, кисеоник, водоник, влага (H_2S , O_2 , H_2 , W); те киселе компоненте O_2 и H_2S . Настанак метана из биогаза врењем органских материја из стајског ђубрива или других животињских или биљних отпадака без присуства ваздуха је један од најзначајнијих процеса у пољопривреди. У процесу врења долази до биолошке разградње и труљења органских материја, уз пораст температуре, а сам процес се назива анаеробна ферментација. Овако настао биогаз представља влажну, запрљану и корозивну гасну смесу, која садржи сагорљиве, токсичне и загушљиве компоненте, што је непожељна особина. У сваком случају, неопходно је добро познавати његове особине, разумети проблеме који се појављују при његовом прикупљању, транспорту, смештају и употреби. Овако настао биогаз користи се на више начина: стварање топлоте, за покретање мотора, за производњу електричне енергије итд.

Метан се релативно дуго задржава у атмосфери (око 8,4 година), што доприноси његовом глобалном распрострањању. Спада у групу гасова са ефектом стаклене баште који доприносе глобалном загревању атмосфере узрокујући тиме глобалне промене климе. Потенцијал глобалног загревања метана 23 пута је већи од CO_2 , па је стога неопходно, у складу са међународним уговорима предузимати све потребне акције како би се обезбедила стабилизација и постепена редукција емисија овог гаса у атмосферу.

У табели 6 су наведени подаци у којима се види просечна производња стајњака и потенцијал биогаза.

Табела 6. Производња стајњака за живину [18]

	Живина		
Капацитет фарми (по комаду)	5.000	7.000	12.000
Производња стајњака (kg/дан)	345	483	828
Производња стајњака (kg/godina)	125.925	176.295	302.220
Просечна производња стајњака t/години по 1 животињи	0,02519	0,02519	0,02519
Просечна производња биогаза (m ³ /dan/po SJ)	2,76	2,76	2,76

Током једне године, пилићи укупне тежине 500 kg произведу око 12.045 kg свежег измета, који садржи око $m_{os,500kg} = 2.000$ kg чврсте органске материје. Ако је капацитет фарме 7.000 пилета, и ако је просечна тежина пилета у турнусу $m_p = 1.5$ kg, може се израчунати производња чврсте органске материје која износи 42 t. Уколико у години има четири турнуса, онда је годишња производња чврсте органске материје 168 t.

$$m_{os} = n_p * m_p * m_{os,500} / 500kg = 7000 * 1,5 * 2000 / 500 = 42 \text{ t}$$

За производњу биогаза током целе године и стабилизацију процеса потребно је осигурати од 10 до 30% суве материје у мешавини. Ако се годишње произведе 168 t круте органске материје из пилећег измета, потребно је додати око 100 t суве кукурузне силаже и 50 m³ отпадне воде од прераде меса. После додавања силаже и воде маса супстрата је 318 t.

Анаеробном ферментацијом ове масе супстрата на температури од 30°C и у трајању од око 30 дана, од једне тоне супстрата може се добити 100 m³ биогаза¹, па је годишња производња биогаза 31.800 m³.

Доња топлотна вредност² биогаза је 6.4 kWh/m³ и према томе, на годишњем нивоу може се произвести 203.520 kWh, а на дневном нивоу производња је 558 kWh.

¹ Продукција биогаза из течног стајњака је 90-150 m³/t, а из чврстог стајњака 50-100 m³/t.

² Доња топлотна моћ је 6,4-7,5 kWh/m³ за течни и 5,8-6,4 kWh/m³ за чврсти стајњак.

10. Прорачун дизајна биогаз дигестора

Биогаз се може добити из било ког органског материјала након анаеробне ферментације у три главне фазе.

Битни параметри за прорачун дигестора су:

А) Избор материјала,

Б) Укупна чврста супстанца (ТС) - Укупна чврста супстанца садржана у одређеној количини материјала се обично користи као материјална јединица за означавање производње биогаза. Пожељна вредност ТС је 8%.

Ц) Повољна температура, рН вредност и однос C/ N за добру ферментацију су:

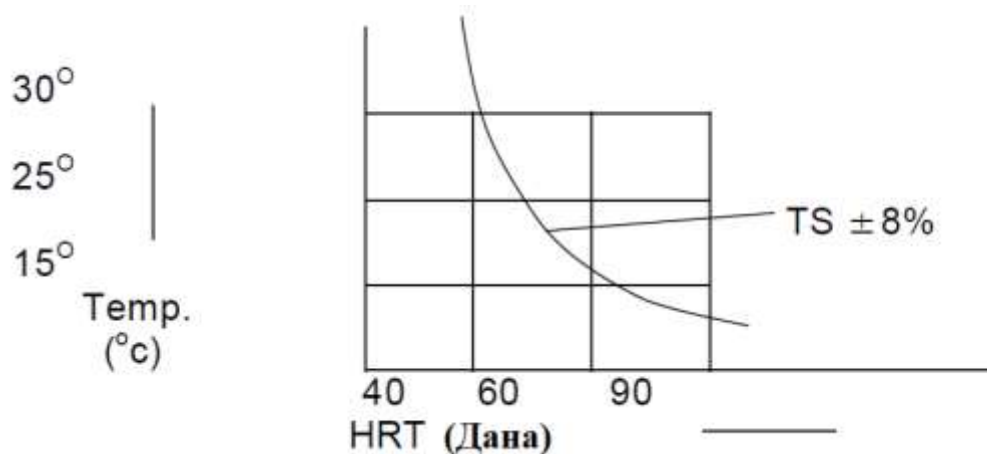
- Температура: мезофилна; 20°C до 35 °C,
- Вредност рН: Неутрална рН и креће се од 6,8 до 7,2;
- Однос C/N варира од 20: 1 до 30: 1.

У Табели 7 су дати подаци за дневне количине стајњака, вредности укупне чврсте супстанце, испуштање и додавање воде да би се постигао повољно стање.

Табела 7. Количине стајњака по врсти животиња [19]

	Тежина (kg)	Укупна количина стајњака на дан (kg)	ТС Количина свежег стајњака (%)	Вода која се додаје у количину свежег стајњака 8% (kg)
Краве	200	10	16	10
Пилићи	1,5	0,1	20	0,15
Свиње	50	5	20	7,5

Веза између температуре, временског периода дигестије и количине свежег стајњака у вредности од 8% је приказана на следећем дијаграму [19].



Дијаграм 1. Веза између температуре, временског периода дигестије и количине свежег стајњака у вредности од 8%

Прорачун је рађен према следећим предпоставкама за запремину дигестора:

$$V_c \leq 5\% V$$

$$V_s \leq 15\% V$$

$$V_{gs} + V_f = 80\% V$$

$$V_{gs} = V_H$$

$$V_{gs} = 0.5 (V_{gs} + V_f + V_s) K$$

$$V = V_c + V_{gs} + V_f + V_s$$

где су:

$V_c + V_{gs}$ - запремина горње калоте (у даљем прорачуну V_1)

V_f - запремина радне површине дигестора (у даљем прорачуну V_3)

V_s - запремина доње калоте (у даљем прорачуну V_2)

K - производња биогаса по m^3 дигестора по дану

$$D = 1.3078 \times V^{1/3}$$

$$V_1 = 0.0827 D^3$$

$$V_2 = 0.05011 D^3$$

$$V_3 = 0.3142 D^3$$

$$R_1 = 0.725 D$$

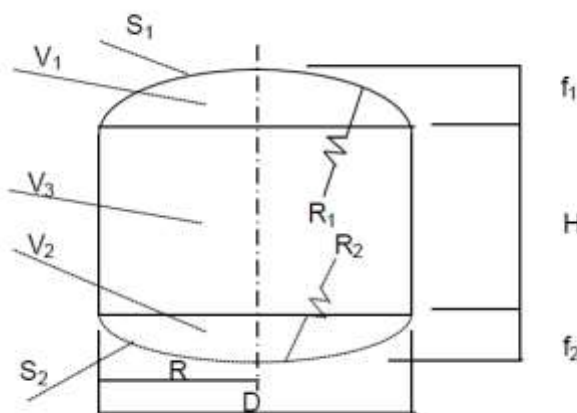
$$R_2 = 1.0625 D$$

$$f_1 = D/5$$

$$f_2 = D/8$$

$$S_1 = 0.911 D^2$$

$$S_2 = 0.8345 D^2$$



Слика 21. Геометријски приказ дигестора [19]

Димензије дигестора су израчунате на следећи начин. Прорачун је урађен за 7.000 пилета са просечном килажом од 1.5 kg, на температури од 30⁰ C.

Ако је временски период дигестије (ХРТ) 40 дана на температури 30⁰С добијају се следећи подаци који су добијени на основу препорука датих у табели 7:

Табела 8. Укупна количина стајњака и коналног супстрата

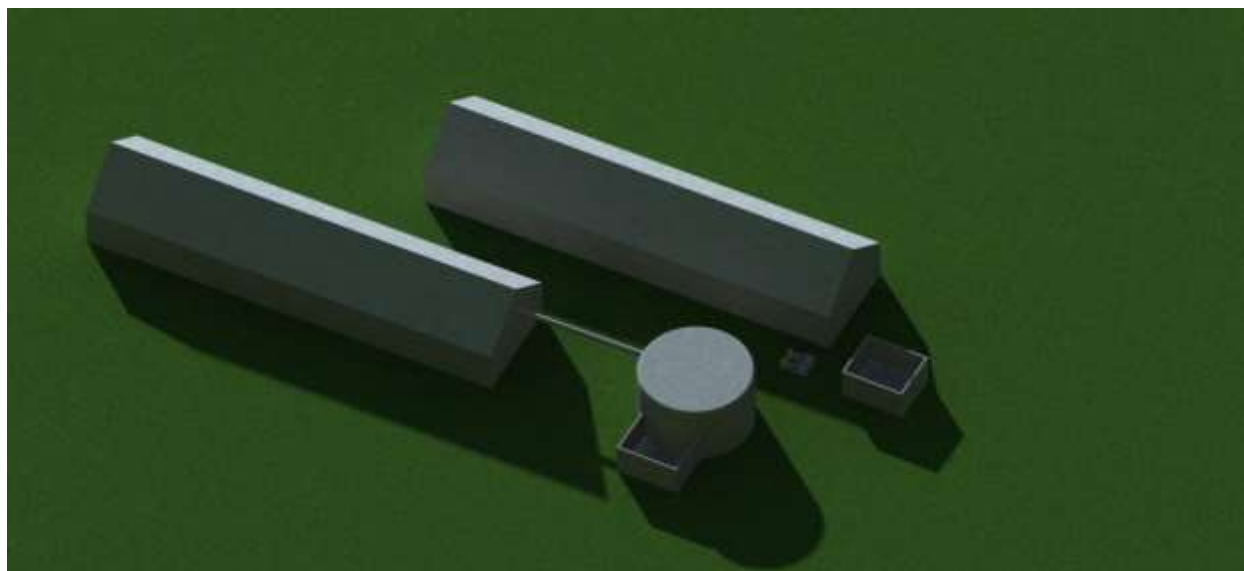
Број пилета	Укупна количина стајњака (kg/дан)	Количина свежег стајњака (kg)	Количина течног стајњака (kg)	Вода која се дода у количину свежег стајњака у концентра-цији од 8% (kg)
7.000	700	140	1750	1050

На крају прорачуна се добију следеће димензије дигестора:

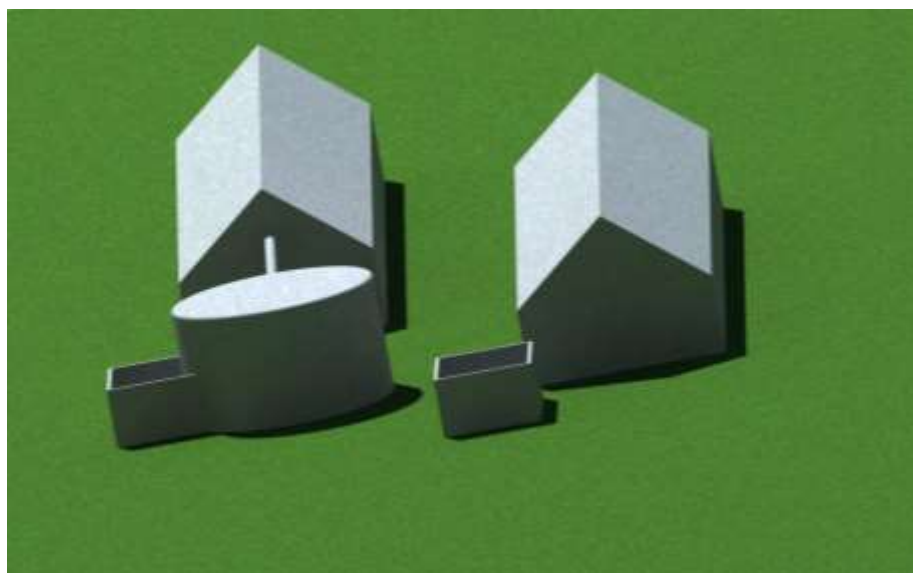
Табела 9. Димензије дигестора

f_1	f_2	H	D	R_1	R_2	V_1	V_2	V_3
1.16 m	0.725 m	2.3 m	5.8 m	4.205 m	6.17 m	16.14 m ³	13.125 m ³	10.57 m ³

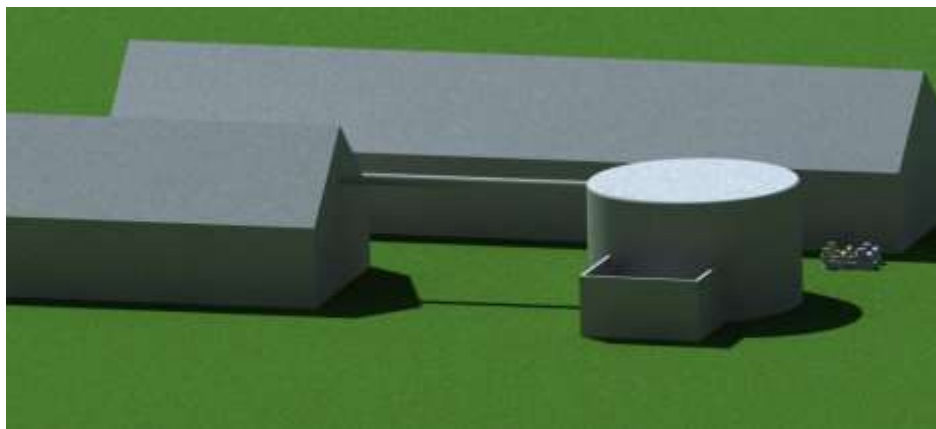
На сликама 22, 23, 24 и 25 је приказан виртуелни 3Д модел дигестора који је урађен у софтверском пакету *Catia V5*, а на коме се виде фарме, дигестор, пумпе и простор за стајњак.



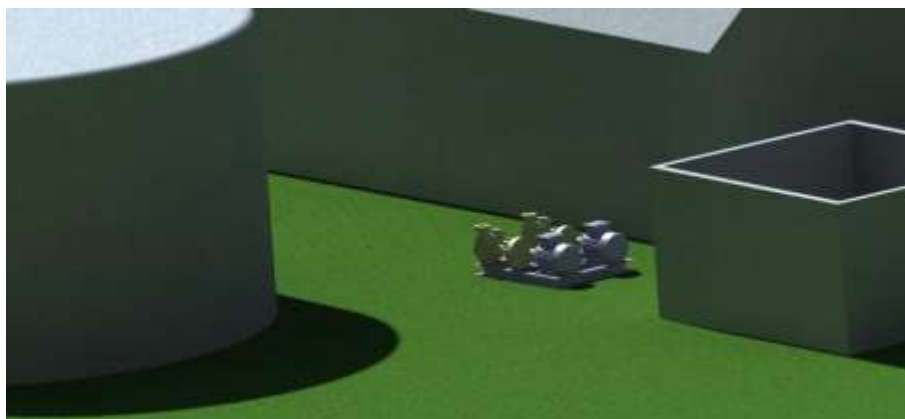
Слика 22. 3Д модел могућег постројења - поглед одозго



Слика 23. 3Д модел постројења - поглед спреда



Слика 24. 3Д модел - дигестор



Слика 25. 3Д модел - приказ пумпи

11. Економска анализа

Потрошња електричне енергије на годишњем нивоу је 150.000 динара, за огрев се потроши 150.000 динара, а за воду 21.000 динара. Укупна плаћања на годишњем нивоу за струју, воду и огрев износе 321.000 динара. Према искуствима домаћина и годишње потрошње енергената, на електричну енергију, топлоту и воду се потроши 2.720 еура годишње.

Табела 10. Инвестициони трошкови

	Назив	Јединица	Количина	Јединична цена (дин)	Укупно (хиљ. дин)
1	Пумпа за активну материју (пуњење дигестора)	ком	1	90.000	90
2	Дигестор 50 m ³	ком	1	210.000	210
3	Сигурносни контролер	ком	3	62.400	187.2
4	Пумпа за биогаз	ком	1	72.000	72
5	Резервоар за биогаз	ком	1	252.000	252
6	Гасни котао	ком	1	360.000	360
7	Гасни мотор 5kW - Генератор електричне енергије	ком	1	120.000	120
8	Цевовод, вентили		1	48.000	48
9	Радови и непредвиђени трошкови		1	180.000	180
				Укупно	1 519, 2

У претходној табели су приказани трошкови за делове биогасног постројења, где би укупни трошак био 12.874 еура³. Када се урачунају трошкови уградње постројења, као и трошкови радне снаге, укупна инвестиција за изградњу постројења би била 16.000 € [21].

Када би се изградило ово постројење, годишња производња биогаса била би 203.520 kWh. Када се узме у обзир потрошња електричне енергије која се узима из дистрибуције (12.500 kWh) остало би 191.020 kWh од којих би се 160.000 kWh користило за грејање објекта. Преостало 31.020 kWh би се испоручивало дистрибуцији, по подстицајној откупној цени од 0,1213 €/kWh, одакле би приход био 3.763 € на годишњем нивоу.

Потребно је такође узети у обзир трошкове одржавања и реконструкције. Када се поделе инвестициони трошкови са збиром прихода и уштеде и разликом трошкова добија се период исплате инвестиционих трошкова [22].

Период исплате инвестиције би био око четири године.

³ Курс 1€=118 дин.

12. Закључак

Производња енергије из обновљивих извора у савременим условима све више добија на значају. Будући да енергија у било ком облику представља основу за сваку човекову активност, присутно је стално повећање потрошње енергије. Са друге стране, тренутна структура примарних извора енергије не може, на глобалном нивоу, обезбедити такав тренд повећања производње. Ограничене залихе фосилних горива, а посебно сирове нафте, чије се резерве процењују на период 30 - 40 година, наводе човечанство да се окрене супституцији нафте и њених деривата. Уз то, чињеница је да би се наведени период трајања постојећих резерви сирове нафте, свео на мање од десет година, када би укупно становништво на Земљи трошило енергију на нивоу земаља развијеног света. Недостатак, односно обиље енергије, условљени су правцем развоја технологије и економије. Ово је посебно очигледно ако знамо да је на нашим просторима, као и у свету, одувек доступна, а данас драстично запостављена, енергија добијена органском конверзијом. Само биљни покривач земље износи више од 18.000 милијарди тона суве материје. Поставља се питање колика је стварна цена енергије коју данас трошимо. На то питање тешко је дати одговор, јер је тешко предвидети економске димензије будућих еколошких проблема који се на овај начин акумулирају. Потпуне последице садашње политике коришћења расположивих енергетских ресурса осетиће тек следеће генерације. Једно је сигурно, енергија је скупа и цена јој је много већа него што то данас изгледа. Поред тога, додатни разлог и импулс за коришћење биомасе потиче од све строжих услова које намеће заштита животне средине и нужности изналажења технолошких решења која омогућују одрживи раст друштва.

Чињеница да Република Србија има високу стопу повећања потрошње енергије (6% – 7% годишње) и да смо у резервама примарне енергије приближно шест пута сиромашнији у односу на светски просек, још више нас упућује на рационално коришћење и најмањих количина отпадних горива. Наведене околности, између осталог, јасно налажу и проналажење могућности за ширу употребу биомасе као извора за добијање енергије. Имајући у виду наведене разлоге, коришћење биомасе у Србији има значај, не само за тренутно решавање проблема мањка енергије и њене високе цене, већ услед неминовног исцрпљивања фосилних горива и растућег проблема глобалног загревања због емисије угљендиоксида. Додатни значај разматрањима потенцијала обновљивих извора енергије у целини, а посебно у случају Србије, даје процес прилагођавања и припреме за укључивање Србије у Европску унију.

У овом мастер раду је анализирана могућност изградње биогасног постројења на фарми за узгој живине. Резултати су показали да је прост период отплате инвестиције за постројења четири године, када се узму у обзир добит од продаје електричне енергије по повлашћеној цени, трошкови за рад и одржавање система и средства потребна за инвестицију. Према приказаним резултатима пројекат се може сматрати одрживим и потпуно је прихватљив у економском смислу. С обзиром на значајан потенцијал пољопривредних и животињских остатака у Србији овај пројекат би могао да буде користан пример другим инвеститорима у земљи и региону.

13. Литература

- [1] Републички завод за статистику <https://www.stat.gov.rs/> (приступљено 22.12.2020.)
- [2] Navickas, K., Biogas for farming, energy conservation and environment protection, Proceedings from Mednarodni Simpozij - Bioplin, Tehnologija in Okolje, University of Maribor, Murska Sobota, Slovenia, 2007.
- [3] Приручник о биогасу - од производње до коришћења, Немачки центар за истраживање биомасе, 2016
- [4] Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., Janssen, R., Biogas handbook, University of Southern Denmark Esbjerg, 2008.
- [5] Nakomčić-Smaragdakis, B., Čepić, Z., Dragutinović, N., Šljivac, D., Korišćenje kogenerativnog biogas postrojenja u cilju smanjenja zagađenja životne sredine, Međunarodna naučna konferencija, Novi Sad, ETIKUM, Srbija, 12-13 jun, 2013.
- [6] <https://www.kriegfischer.de/en/biogas-plants> (приступљено 10.03.2021.)
- [7] Smith, Potential for Economic Greenhouse Gas Reduction in Coal-Fired Power Generation, IEA Coal Research The Clean Coal Centre Newsletter, no. 36, November 2001.
- [8] M. Brkić, T. Janjić, D. Somer, Postrojenje za proizvodnju biogasa, biodubriva i zaštitu životne sredine, udžbenik, Procesna tehnika i energetika u poljoprivredi; Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 2006.
- [9] A.K.Lehmann et. all., „Renewable Fuel Cell Power from Biogas“, Renewable Energy World, vol. 4, no. 6, Nov. – Dec., 2001.
- [10] T. Bridgwater, Towards the Bio-refinery – Fast Pyrolysis of Biomass, Renewable Energy World, vol. 4, no. 1, 2001.
- [11] Биогасне електране, Водич за инвестирање, Удружење Биогас, Green Mile Team д.о.о из Новог Сада, Септембар 2020.
- [12] Nicolae Scarlat, Jean-François Dallemand, Fernando Fahl, Biogas: Developments and perspectives in Europe, Renewable Energy, Vol. 129, part A, 2018.
- [13] <https://www.energetskiportal.rs/ministarstvo/fid-in-tarife/> (приступљено 12.01.2021.)
- [14] Michel Torrijos, State of Development of Biogas Production in Europe, Procedia Environmental Sciences, Vol. 35, pp. 881-889, 2016.

- [15] Јовановић М., Радаковић Д., Киш Ф., ЗНАЧАЈ ПРОИЗВОДЊЕ БИОГАСА НА ПОЉОПРИВРЕДНИМ ГАЗДИНСТВИМА ВОЈВОДИНЕ, Економика пољопривреде, број 2/2008
- [16] Dieter Deublein, Angelika Steinhauser: *Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008.
- [17] М. Мартинов, К. Ковач, Ђ. Батков: Биогас Технологија, Нови Сад, 2012.
- [18] Филип Кос: Биогасно когенерацијско постројење на перадарској фарми, дипломски рад, Факултет стројарства и бродоградње, Свеучилиште у Загребу, 2010.
- [19] Design of Biogas Plant, Bio-gas Project, LGED, Biogas Training Center (BRC) Chendu, Sichuan,
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BRC%20ny%20Design%20Biogas%20Plant.pdf
- [20] Google Earth, (приступљено 02.02.2021.)
- [21] Мала биогас постојења за фарме средње величине у Србији као извор додатног прихода, ДКТИ - Развој одрживог тржишта биоенергије у Србији
- [22] <http://www.bioenergy-serbia.rs/index.php/en/giz-dkti-programme/biogas-plants>
(приступљено 15.01.2021.)