

BIOGĀZES RAŽOŠANAS BLAKUSPRODUKTU PIRMAPSTRĀDE PRETREATMENT OF BIOGAS PRODUCTION BYPRODUCTS

Autors: **Margarita Božko**, e-pasts: margarita-13@inbox.lv

Zinātniskā darba vadītāja: **Ērika Teirmunieka, Mg.chem.** e-pasts: erika.teirumnieka@rta.lv
Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, Inženieru fakultāte, Atbrīvošanas aleja 115, Rēzekne,

Abstract. "Pretreatment of Biogas Production Byproducts". The aim of the research is to determine the optimal method of hydrogen sulphide attraction at the biogas production station and elaborate a solution for digestate treatment from microbiological pollution. Out of nine researched reagents the best one to attract hydrogen sulphide in the biogas reactor is $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$, $Fe(OH)_3$, $AlCl_3$. From the point of view of the environmental safety the safest are $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$, $Fe(OH)_3$, from the point of view of costs the cheapest are $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ and $AlCl_3$. It is suggested to use $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ as a reagent for the attraction of hydrogen sulphide. The recommended optimal conditions for liquid digestate pasteurization at the biogas production station are: thermal treatment at 70 °C, time of treatment 60 minutes or thermal treatment at 80 °C, time of treatment 30 minutes.

Key words: biogas, digestate, microbiological pollution, hydrogen sulphide, pasteurization.

Ievads

Biogāzes ražošanas stacijā dzels (III) hlorīds nespēj efektīvi noārdīt sērūdeņradi. Sēra savienojumi biogāzē izraisa metāla detaļu koroziju biogāzes ražotnēs un sēra savienojumu uzkrāšanos bioreaktorā. Savukārt, atsērojot biogāzi fermentatorā ievadot hloru vai sulfītus saturošus reaģentus ķīmiskās reakcijas gaitā veidojas sāļskābe vai sērskābe, kas izraisa fermentatora iekšējo sienīgu koroziju un paaugstina šo savienojumu klātbūtni pārraudzētā substrātā, kas nav labvēlīgi augsnes mēslošanai.

Biogāzes pārrūgušajam substrātam (digestātam) piemīt augsts mēslošanas potenciāls, kurš ir bagāts ar barības vielām (slāpekļis, fosfors, kālijs) un kuru var efektīvi izmantot kā organisko mēslojums lauksaimniecībā [2]. Savukārt, digestāts ir mikrobioloģiski piesārņots ar tādiem patogēniem kā E.Coli, Pseudomonas, Klebsiella, Clostridium, Bacillus, Peicillum, Bacteriodes, Salmonella, kas ir bīstami cilvēka veselībai un to izplatīšana apkārtējai vidē ir nevēlama [1].

Materiāli un metodes

Zinātniskā darba izstrādes laikā tiek apkopoti materiāli un izmantota zinātniskās literatūras analīzes metode par sērūdeņraža saistīšanas iespējam biogāzes ražošanas procesā un izpētīti kūtsmēsli vai digestāta attīrīšanas metodes no mikrobioloģiskā piesārņojuma. Par pētījuma objektu izvēlēta biogāzes ražotne, kas ražo biogāzi no organiskiem atkritumiem - liellopu kūtsmēsliem, tādējādi veidojot bezatkritumu ražotni. Optimālās sērūdeņraža saistīšanas metodes izvēlei veikts teorētiski-ekonomiskais aprēķins sērūdeņraža saistīšanai no biogāzes ražošanas stacijā.

Lai novērtētu digestāta izmantošanas iespējas, Rēzeknes novada biogāzes ražošanas stacijā tika paņemts sausā digestāta paraugs pēc to saperēšanas jeb atdalīšanas no šķidrās frakcijas. Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmijas ķīmijas, ekoloģijas, ekotehnoloģijas, mikrobioloģijas laboratorijās sausajam digestāta paraugam noteikts organisko vielu saturs, pelnainība, siltumspēja, ogleklis, pH. Sagatavojot digestāta izvilkumu (100g sausā digestāta uz 1 l ūdens uz 24 stundām), noteikts kopējais slāpekļis, kopējais fosfors, amonijs, pH, ka arī noskaidrota mikrobioloģiskā piesārņojuma (E. Coli, Enterokoki) esamība, analizējot digestāta izvilkumu. Pelnainība saturs noteikts testējamo parauga daļu vispirms žāvējot 103 °C

<http://dx.doi.org/10.17770/het2016.20.3531>

temperatūrā un pēc tam pārņemot 450 °C temperatūrā un nosakot tos kā atlikumu pēc sadedzināšanas. Organisko vielu saturs noteikts kā masas zudums pēc sadedzināšanas. Siltumspēja noteikta, izmantojot iekārtu Eltra CS 2000, kopējais slāpekļis, kopējais fosfors un amonijs noteikts, pielietojot spektrofotometrisko metodi.

Mikrobioloģiskās analīzes veikšanai biogāzes ražošanas stacijā 20.06.2014. un 23.10.2016. tika paņemti digestāta paraugi pirms saderēšanas, kas satur cieto un šķidro frakciju, un izanalizēti akreditētā mikrobioloģiskā laboratorijā BIOR, Rēzeknē. Mikrobioloģisko analīzi veica sertificēts mikrobiologs Jūlija Grebeža, pamatojoties uz maģistrā darba autora uzdotiem eksperimenta nosacījumiem (temperatūra un laiks). Termiskās apstrādes nosacījumi balstīti uz zinātniskajā literatūrā izanalizētajiem datiem un ir saistīti ar digestāta sterilizācijas apstrādes paņēmieniem mikrobioloģiskā piesārņojuma noņemšanai. Eksperimentālajā daļā parauga termiskai apstrādei pie dažādām temperatūrām un laikiem (1, 5, 10, 30, 60 minūtēs temperatūru diapazonā 50 °C–100 °C) tika izmantota ūdens vanna BIO SAN. E.Coli mikroorganisma noteikšanai tika izmantota akreditētā metodika LV ISO 16619-2:2007, kura pamatojas uz β – glikuronidāzes pozitīvo Esherichia coli baktēriju testēšanu saskaņā ar ISO 16649-2.

Rezultāti un to izvērtējams

Biogāzes atsērošanai tika izskatīta zinātniskā literatūra un veikta biogāzes attīrīšanas metožu analīze. Biogāzes ražošanas stacijas sērūdeņraža saistīšanai no biogāzes teorētiski izrēķinātas katra reaģenta H₂S noārdīšanas daudzums (g), pievienojot 1g reaģenta, ka arī šo ķīmisko vielu izmaksas. Aprēķinu veikšanai biogāzes atsērošanai tika izmantoti tādi ķīmiski reaģenti kā FeCl₂, FeCl₃, Fe(OH)₂, Fe(OH)₃, Fe₂O₃·3H₂O, Fe₂(SO₄)₃, FeSO₄, Al₂(SO₄)₃, AlCl₃. Patērēto reaģentu aprēķinu rezultāti sērūdeņraža saistīšanai atspoguļoti 1. tabulā.

1.tabula

Patērēto reaģentu aprēķinu rezultāti sērūdeņraža saistīšanai

Nr.	Reaģenta ķīmiskā formula	H ₂ S noārdīšanas daudzums (g), pievienojot 1g reaģenta	Reaģentu cena biogāzes atsērošanai ar PVN (EUR)			
			100 g	60 g/dnn.	1,74 kg/mēnesī	21 kg/gadā
1.	Fe ₂ O ₃ ·3H ₂ O	0,476	2,42	1,45	42	508
2.	Fe(OH) ₃	0,474	68,21	40,93	1187	14326
3.	AlCl ₃	0,383	8,95	5,37	156	1880
4.	Fe(OH) ₂	0,377	60,50	36,3	1053	12705
5.	FeCl ₃	0,316	33,43	20,06	582	7021
6.	Al ₂ (SO ₄) ₃	0,298	6,80	4,08	118	1428
7.	FeCl ₂	0,269	49,00	29,4	853	10290
8.	Fe ₂ (SO ₄) ₃	0,255	42,19	23,31	676	8159
9.	FeSO ₄	0,224	19,40	11,64	338	4074

Noskaidrots, ka no deviņiem pētītajiem reaģentiem vislabāk sērūdeņradi biogāzes reaktorā saista Fe₂O₃·3H₂O, Fe(OH)₃, AlCl₃. No vides viedokļa drošākie ir Fe₂O₃·3H₂O, Fe(OH)₃, jo biogāzes reaktorā notiekošo ķīmisko procesu rezultātā tie saista sēru sulfīdu veidā un veido ūdeni, nevis skābes. No izmaksu viedokļa lētākie ir Fe₂O₃·3H₂O un AlCl₃, jo gadā Fe₂O₃·3H₂O izmaksas sastāda 508 EUR, AlCl₃ – 1880 EUR, savukārt, Fe(OH)₃ -14326 EUR. Rekomendēts kā reaģentu sērūdeņraža saistīšanai izmantot Fe₂O₃·3H₂O. Par biogāzes atsērošanas metodi ieteicams izmantot iekšējo bioloģisko biogāzes attīrīšanu, ievadot bioreaktorā pakāpenisko gaisa skābekļa daudzumu, kombinējot ar ķīmisko izgulsnēšanu.

Digestāta izmantošanas iespēju pārbaudei veikta sausā digestāta analīze, kuru rezultāti ir atspoguļoti 2. tabulā. No rezultātiem ir redzams, kā digestāta saunā ir pietiekoši liels daudzums

organisko mēslojumu saturs ($N_{kop.}$, $P_{kop.}$, NH_4), kas ļauj digestātu izmantot kā organisko mēslojumu, iestrādājot to augsnē. Savukārt, dažādo patogēnu mikroorganismu klātbūtnē digestātā (*E. Coli*, Enterokoki), liecina par to, ka pirms to izmantošanas lauksaimniecībā ir nepieciešama biogāzes substrāta (ja tiks izmantoti lopu kūtsmēsli) priekšapstrāde vai digestāta pēcapstrāde, dezinficējot un attīrot digestātu no mikrobioloģiskā piesārņojuma. Izskatīta sausā digestāta izmantošana kā kurināmā viela. Pelnainības saturs digestāta sausnas paraugā ir augsts -11,6 % salīdzinājumā ar koksni (0,2-1,17%), kūdru (2-30%), salmiem (4,5-6,5 %), mazutu (0,2-1 %), brūnogļu un akmeņogļu pelnainību (1-40%), savukārt, līdzīgs kukurūzas pelnainības robežai (10-14 %), kas novērš iespēju to produktīvi izmantot enerģētikas jomā [10, 11]. Augstā pelnainība nav vēlama, jo jātērē līdzekļus pelnu transportēšanai un aizvākšanai no kurtuves. Pelniem nosēžoties uz sildvirsmām, samazinās siltum parēja, aizsērējas dūmvadi un dūmsūcēji [9].

2.tabula

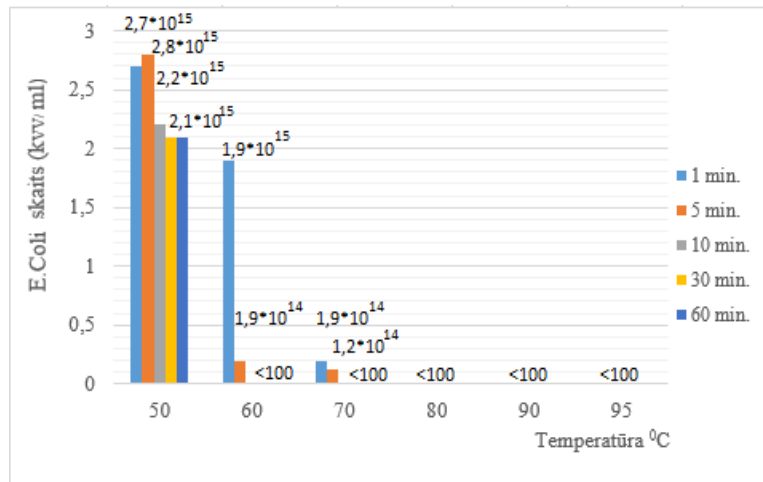
Sausā digestāta analīžu rezultāti

Parametrs	Vērtība	Analīzei izmantojamais digestāta veids
Kopējais slāpeklis ($N_{kop.}$)	220 mg/l	Digestāta izvilkums (100g dig. uz 1 l ūdens)
Kopējais fosfors ($P_{kop.}$)	30 mg/l	
Amonijs (NH_4)	140 mg/l	
<i>E. Coli</i>	14210 cell/100 ml	
Enterokoki	9 400 cell/100 ml	
pH	8,341	Digestāta sausna
Ogleklis (C)	37,9 %	
Siltumspēja	3874,23 cal/g	
Organisko vielu saturs	88,5 %	
Pelnainība	11,6 %	
Mitrums	74,6 %	

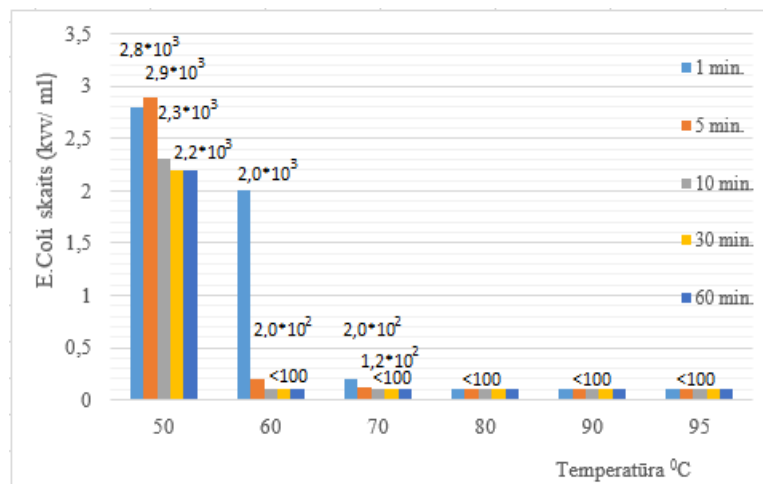
Noteiktā digestāta sausnas siltumspēja – 3 874, 23 cal/g, kas ir līdzīgā koksnei - 3500 cal/g, kukurūzai - 3500 cal/g, salmiem – 3750 cal/g, kūdrai – 2900 cal/g, bet ir nepietiekošs, lai to efektīvi varētu izmantot kā kurināmo salīdzinot ar ogli – 6510 cal/g, dabas gāzi – 8000 cal/g [13]. Oglekļa saturs analizējamā digestātā sasniedz 37,9 %. Salīdzinot oglekļa saturu digestāta sausnā ar to saturu koksnē – 50 %, kūdrā – 59,9 %, brūnoglēs – 69,5 %, akmeņoglēs – 78,7 %, var secināt, ka tas saturs nav tik augsts [12]. Mitrums – 74,6 %. Organisko vielu saturs digestātā sausnā ir 88,5% un liecina par augstu organisko vielu saturu tajā. Digestātu var efektīvi izmantot lauksaimniecībā kā labu organisko mēslojumu. Patogēnu mikroorganismu klātbūtnē *E. Coli*, Enterokoki digestātā sausnā liecina par to, ka pirms digestāta ievadīšanas to ir nepieciešams attīrīt no mikrobioloģiskā piesārņojuma, lai novērst patogēnu mikroorganismu izplatīšanu apkārtnē, kas varētu apdraudēt gan cilvēka veselību, gan floras un faunas stāvokli dabā.

Veicot teorētiski-ekonomiskus aprēķinus, par attīrāmo vielu tika izvēlēts šķidrās digestāts, par digestāta deiznfekcijas metodi tika izvēlēta vielas termiskā apstrāde – pasterizācija.

Grafiski noformēti digestāta šķidrās frakcijas mikrobioloģiski eksperimenta rezultāti, pasterizējot paraugu noteiktās temperatūrās un laikos (sk. 2. attēlā (20.06.2015.) un 3. attēlā (23.10.2015.)).



2.attēls E.Coli mikroorganismu skaits pie dažādām temperatūrām (50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, 95 °C) un laikiem (1, 5, 10, 30, 60 min.) 20.06.2015.



3.attēls E.Coli mikroorganismu skaits pie dažādām temperatūrām (50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C, 95 °C) un laikiem (1, 5, 10, 30, 60 min.) 23.10.2015.

2. attēlā ir atspoguļots E.Coli mikroorganismu skaits, sasildot paraugu, kas tika paņemts 20.06.2015. pie dažādām temperatūrām (50, 60, 70, 80, 90, 95 °C) un laikiem (1, 5, 10, 30, 60 min.). Konstatēts, ka paaugstinot temperatūru no 50 °C līdz 95 °C, E.Coli skaits samazinās no $2,8 \cdot 10^{15}$ kvv/ml līdz <100 kvv/ml. Sasildot šķidra digestāta frakciju 50 °C temperatūrās 1, 5, 10, 30 un 60 minūtēs E.Coli skaits nebūtiski samazinās no $2,7 \cdot 10^{15}$ kvv/ml līdz $2,1 \cdot 10^{15}$ kvv/ml. Sasildot paraugu 60 °C temperatūrā 1 un 5 minūtes E.Coli skaits samazinās līdz $1,9 \cdot 10^{15}$ kvv/ml, 60 °C temperatūrā E.Coli skaits būtiski samazinās sildot 10, 30 un 60 minūtes. Sasildot šķidrā digestāta frakciju 70 °C 1 minūti E.Coli skaits samazinās līdz $1,9 \cdot 10^{14}$ kvv/ml un sasildot 5 minūtes samazinās līdz $1,2 \cdot 10^{14}$ kvv/ml, savukārt, E.Coli skaits būtiski sāk samazināties 70 °C temperatūrā, pasterizējot paraugu 10, 30 un 60 minūtes. E.Coli mikroorganisma skaits vienādi būtiski un stabili samazinās līdz <100 kvv/ml, karsējot paraugu 80 °C, 90 °C, 95 °C 1, 5, 10, 30, 60 minūtēs.

No 3. attēla ir redzams, ka paaugstinot temperatūru no 50 °C līdz 95 °C, E.Coli skaits samazinās no $2,9 \cdot 10^3$ kvv/ml līdz <100 kvv/ml. Sasildot šķidrā digestāta frakciju 50 °C temperatūrā no 1, 5, 10, 30 un 60 minūtes E.Coli skaits būtiski nemainās un svārstās $2,9 \cdot 10^3$ kvv/ml līdz $2,2 \cdot 10^3$ kvv/ml robežās. Sasildot šķidrā digestāta frakciju 60 °C temperatūrā 1 minūtē E.Coli skaits nebūtiski samazinās līdz $2,0 \cdot 10^3$ kvv/ml, karsējot 5 minūtes sāk samazināties līdz $2,0 \cdot 10^2$ kvv/ml. Mikroorganismu skaits būtiski sāk samazināties 60 °C

temperatūrā apstrādes laikos 10, 30, 60 minūtēs. Sasildot šķidrā digestāta frakciju 70 °C 1 minūti, E.Coli skaits samazinās $2,0 \cdot 10^3$ kvv/ml, karsējot 5 minūtes - $1,2 \cdot 10^2$ kvv/ml un būtiski sāk samazinās, pasterizējot paraugu 10, 30 un 60 minūtes. Sasildot šķidro digestāta frakciju 80 °C, 90 °C, 95 °C laikos 1, 5, 10, 30, 60 minūtēs, E.Coli mikroorganismi stabili iet bojā un to skaits samazinās līdz 100 kvv/ml. Noskaidrots, ka 50 °C temperatūrā laikos no 1 līdz 60 minūtēm nav iespējams digestāta paraugam noņemt mikroorganismu E.Coli.

Digestāta šķidrās frakcijas pasterizācijas rezultāti salīdzinot ar termiski neapstrādāto šķidro digestāta paraugu $2,7 \cdot 10^{15}$ kvv/ml (20.06.2015.) un $2,8 \cdot 10^3$ kvv/ml (23.10.2015.), tiek sasniegti pie sekojošiem dezinfekcijas nosacījumiem: 60 °C 30 minūtes, 60 °C 60 minūtes; 70 °C 10 minūtes, 70 °C 30 minūtes, 70 °C 60 minūtes; 80 °C 1 minūte, 80 °C 5 minūtes, 80 °C 10 minūtes, 80 °C 30 minūtes, 80 °C 60 minūtes; 90 °C 1 minūte, 90 °C 5 minūtes, 90 °C 10 minūtes, 90 °C 30 minūtes, 90 °C 60 minūtes; 95 °C 1 minūte, 95 °C 5 minūtes, 95 °C 10 minūtes, 95 °C 30 minūtes, 95 °C 60 minūtes. Noteikts, ka neatkarīgi no E.Coli sākotnējā daudzuma digestāta paraugos, kas tika paņemti 20.06.2015. un 23.10.2015., E.Coli mikroorganismi iet bojā pie noteiktiem, uz zinātnisko literatūru pamatotiem, vienādiem pasterizācijas nosacījumiem (temp. un laiks).

Lai uzstādītu pasterizācijas tvertni ir neieciešams izanalizēt un izvēlēties optimālus nosacījumus (laiks un temperatūra) šķidrā digestāta attīrīšanai no mikrobioloģiskā piesārņojuma. Veicot šķidrā digestāta mikrobioloģisko analīzi dažādās temperatūrās un laikos ir konstatēts, ka temperatūrās 60 °C un 70 °C 10, 30 un 60 minūtēs E.Coli skaits būtiski samazinās līdz <100 kvv/ml un ir vienlīdzīgs E.Coli skaitam, pasterizējot paraugu 80 °C, 90 °C, 95 °C 10, 30 un 60 minūtēs. Secināts, ekonomiski izdevīgāk būtu digestāta šķidro frakciju attīrīt no mikrobioloģiskā piesārņojuma, karsējot paraugu 60 °C un 70 °C 10, 30 un 60 minūtēs.

Saskaņā ar ES standartu 1774/2002/EC (03.10.2002.), tad digestāta paraugu ieteicams pasterizēt 70 °C temperatūrā vismaz 60 minūtes vai 90 °C temperatūrā vismaz 60 minūtes. Pamatojoties uz zinātnisko literatūru, tad efektīvākie un ekonomiski izdevīgākie digestāta attīrīšanas nosacījumi: termiskā apstrāde 60 °C 1 stundas laikā, 70 °C 1 stundas laikā un 80 °C 30 minūšu laikā [3].

Secinājumi

1. Biogāzes ražošanas stacijai tiek rekomendēts kā reaģentu sērūdeņraža saistīšanai izmantot $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.
2. Eksperimentāli noteikts, ka digestāta cieto frakciju tīrā veidā izmantot kā kurināmo nav lietderīgi, jo tam piemīt augsta pelnainība (11,6 %), mitrums (74,6 %), nav pietiekošs oglekļa saturs (37,9 %) un zema materiāla siltumspēja (3874,32 cal/g).
3. Eksperimentāli noteikts, ka biogāzes ražošanas stacijas cietās frakcijas digestāta izvilkumā ir augsts organisko un augu barības vielu saturs: organiskās vielas - 88,9 %, $P_{\text{kop.}}$ - 220 mg/l, $N_{\text{kop.}}$ 30 mg/l, NH_4 -140 mg/l, tāpēc to var izmantot par organisko mēslojumu lauksaimniecībā.
4. Patogēnu E. Coli (14210 cell/100 ml) un Enterokoki (9400 cell/100 ml) klātbūtne cietās frakcijas digestāta izvilkumā liecina par digestāta dezinfekcijas pasākumu nepieciešamību pirms to izmantošanas lauksaimniecībā.
5. Rekomendētie optimālie biogāzes ražošanas stacijas šķidrā digestāta sterilizēšanas nosacījumi ir: termiskā apstrāde 70 °C, apstrādes laiks 60 minūtēs vai termiskā apstrāde 80 °C, apstrādes laiks 30 minūtes.
6. Rekomendēts sterilizācijas tvertni uzstādīt pēc šķidrā digestāta uzkrāšanas tvertnes, ar tilpumu 13 m^3 , kurā var pasterizēt $8\text{-}11 \text{ m}^3$ šķidrā digestāta, kas ir izvēlēts pamatojoties uz iespējamo koģenerācijas iekārtas elektro vai siltumjaudu pie optimāliem nosacījumiem, kā arī ar kravas mašīnas tilpumu ($8\text{-}10 \text{ m}^3$). Šķidro attīrīto no mikrobioloģiskā

piesārņojuma digestātu ieteicams uzglabāt 60 m³ lielā tvertnē, lai dienā varētu pakļaut sterilizēšanai līdz 50 m³ šķidrā digestāta.

Summary

Preliminary purification of biogas substrate (manure) or post-purification of digestate of biogas substrate, which has undergone fermentation, methods are used for ecologically and microbiologically safe production of organic fertilizer, what allows efficient preventing of pathogens getting into the environment [4].

In the process of biogas production there derives a byproduct – valuable organic fertilizer (containing potassium, phosphorus, nitrogen), which requires treatment prior to its use (separation of the liquid fraction from the solid) and purification from microbiological pollution [5.,6]. In accordance with the EU regulation 1774/2002/EC (03.10.2002.), the substrate, which has undergone fermentation, or digestate in the post-fermentation process must be thermally treated or pasteurized at 70 °C or at 90 °C for at least 60 minutes [3., 8].

In the framework of the research there was carried out a theoretical and economic calculation for purification of digestate from the microbiological pollution at the biogas production station. It appeared that the liquid manure has the largest amount of consumed heat per 1 ton of substance, and digestate – the lowest. However, in the company it is economically more gainful to pasteurize thermally the liquid fraction of digestate. It was found out that increasing the temperature of pasteurization of manure, liquid manure, digestate, liquid digestate from 50 to 100 °C and reducing the time of their treatment from 120 to 10 minutes, the power increased. The research includes microbiological analysis of the liquid digestate at the biogas production station. As a result it appeared that at the temperature of 50 °C in periods for 1, 5, 10, 30, 60 minutes it is impossible to take off the E.Coli indicator of microbiological pollution. The recommended optimal conditions for liquid digestate pasteurization at the biogas production station are: thermal treatment at 70 °C, time of treatment 60 minutes or thermal treatment at 80 °C, time of treatment 30 minutes [14].

Literatūra

1. Charnnok B., Suksaroj T., Boonswang P., Chaiprapat S. Oxidation of hydrogen sulfide in biogas using dissolved oxygen in the extreme acidic biofiltration operation. *Bioresource Technology*. 2013. Nr.131. 492–499 pp.
2. Chiumenti A., daBorso F., Chiumenti R., Teri F., Segantin P. Treatment of digestate from a co-digestion biogas plant by means of vacuum evaporation: Tests for process optimization and environmental sustainability. *WasteManagement*. 2013. Nr. 33. 1339–1344pp.
3. Coultry J., EilínWalsh E., McDonnell K. Energy and economic implications of anaerobic digestion pasteurisation regulations in Ireland. *Energy*. 2013. Nr. 60. 125-128pp.
4. Blumberga D., Dzene I., T. Sedi Al, Rucs D., Prasls H., Ketners M., Finstervalders T., Folka S., Jansens R. Biogāze. Rokasgrāmata. ISBN 978-9934-8058-0-6. Lpp.155.
5. Dubivskis V., Niklass M., Emsis I., Kārklīņš A. Biogāzes ražošana un efektīvā izmantošana. Informatīvais materiāls. Lpp. 88.
6. Digestāts - videi draudzīgs barības vielu avots augiem. Sk.Interetā <http://news.lv/Iecavas-zinas/2013/04/19/digestats-videi-draudzigs-baribas-vielu-avots-augiem>
7. Eiropas Savienības regula R142/2011 regula (25.02.2011). Sk. Internetā 04.11.2015. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:054:0001:0254:LV:PDF>
8. Eiropas Savienības regula 1774/2002/EC (03.10.2002.) Sk. Internetā 04.11.2015. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2002R1774:20070724:EN:PDF>
9. Kurināmā īpašības. Sk. Internetā 21.05.2015. http://www.tmf.rtu.lv/sesi/DATA_FILES/lv/blank_maclit/15/1/39/2009_04_02_08_50_15/nagla_saveljev_siltumt_pam_2_p24-p46.pdf
10. Зольность древесины. Sk. Internetā 20.05.2015. <http://boiler-wood.ru/ash-wood.html>
11. Зольность. Sk. Internetā 20.05.2015. <http://girls4girls.ru/zernovedenie/1876-zolnost-chast-3.html>
12. Понятие «биомасса» Свойства твердого биотоплива: цифры и факты. Sk. Internetā 21.05.2015. <http://www.agrotoplivo.ru/biomassa.html>

13. Сравнительная таблица теплотворности некоторых видов топлива. Sk. Internetā 20.05.2015.
<http://www.ecoles-nn.ru/tablitisa-teplotvornosti>
14. Božko M. Biogāzes ražošanas blakusproduktu pirmāpstrāde. Maģistra darbs. Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija. 2016. Lpp.87.