

# KOMPOSTĒŠANAS TEHNOLOĢIJU ENERĢĒTISKAIS NOVĒRTĒJUMS

## *Energy Effectiveness Assessment of Composting Technologies*

### I. Plūme

Latvijas Lauksaimniecības universitāte,  
Tehniskā Fakultāte, Čakstes bulv. 5, Jelgava, Latvija, LV-3001  
Tel: 30-80674, fax: 30-27238, E-mail: [imants@cs.llu.lv](mailto:imants@cs.llu.lv)

### Abstract

*The incorrect biomass composting improperly results in considerable emission of greenhouse gases, loss of effluent and composting heat into environment. The composting heat and gases utilisation is especially suitable for plant enrichment and heating of greenhouses. The mathematical model is worked out for assessment of energy effectiveness and sustainability of biomass composting process. Coefficient of energy effectiveness for traditional litter manure composting technologies is 0.45 and can be increased up to 1.50 if the effluent, composting heat, carbon dioxide and ammonia were utilised during the composting cycle.*

**Keywords:** *composting, energy utilisation, effectiveness assessment.*

### Ievads

Cilvēka dzīves kvalitātes nodrošināšanai no ekosistēmas nepieciešams iegūt noteiktu pārtikas, izejvielu, enerģijas un citu resursu daudzumu. Pieejamo fosilās enerģijas avotu straujais izsīkums potenciāli samazina nākamo paaudžu enerģētisko nodrošinājumu. Pēc ANO Vides Programmas novērtējuma zemes nevērīgas apsaimniekošanas un ūdens trūkuma rezultātā pasaulē katru gadu 10 miljoni hektāru auglīgas augsnes pārvēršas tuksnesī un augšņu degradācija pasaulē ietekmē 2.3 miljardus cilvēku. Augsnes degradācijas problēmas ir aktuālas arī Latvijā, jo vidējais humusa saturs augsnēs ir tikai 1.2-1.8 %. Nemainīgas augsnes auglības uzturēšanai augsnē gadā būtu jāiestrādā ne mazāk kā 10 tonnas svaigu kūsmēsli vai 7 tonnas daļēji sadalījušās organiskās vielas [1]. Pēdējo gadsimtu laikā ražošanas koncentrācijas un urbanizācijas procesu rezultātā arvien lielākas biogēno elementu plūsmas ar notekūdeņiem noplūst zemāk esošajās ūdenstilpēs un tiek koncentrētas atkritumu izgāztuvēs. Ekosistēmas ilgtspējības palielināšanai nepieciešams ieviest kompostēšanas tehnoloģijas biomasu konversijai un iestrādei augsnē ar vismazāko enerģijas patēriņu. Daudzas valstis ir izvirzījušas par tuvāko gadu uzdevumu atgriezt aprites ciklā 25–50 % no kompostējamās biomasas plūsmas, kas patreiz nonāk izgāztuvēs.

Kompostēšana ir videi draudzīga un resursus saglabājoša organisko vielu konversija un stabilizācija bioloģisko procesu rezultātā. Baktērijas, sēnes un augsnes dzīvnieki sadala organisko vielu izmantojot biomasā esošo slāpekli, oglekli un citus elementus. Kompostēšanas procesā izdalās zemas temperatūras siltums un augu barības vielas saturošas gāzes. Aerobās kompostēšanas process efektīvi norisinās pie maisījuma temperatūras 35–60 °C, mitruma 40–60 %, blīvuma 300–700 kg/m<sup>3</sup>, oglekļa:slāpekļa (C:N) attiecības 20–30:1 un skābekļa koncentrācijas lielākas par 5 %. Skābekļa piegādei pielieto komposta aktīvo, pasīvo aerāciju vai arī to regulāri pārjauc pēc katrām 2-6 nedēļām. Komposta C:N attiecību, mitrumu un blīvumu regulē sajaucot atšķirīga ķīmiskā sastāva, mitruma un blīvuma izejmateriālus. Komposta ķīmisko īpašību (C:N attiecība, minerālvielu sastāvs, vides reakcija u.c.) uzlabošanai izmanto minerālmēsli, mikroelementu un kaļķošanas materiālu piedevas. Komposta bioloģisko īpašību (mikroorganismu sastāvs, skaits) uzlabošanai pielieto mikroorganismu preparātu piedevas augu aizsardzībai, augsni, vitamīnu ražošanai un gaisa slāpekļa piesaistīšanai. Kompostā un minerālmēslos ietvertu augu barības vielu (slāpekļa, fosfora un kālija) cenu salīdzinājums nedod pilnīgu priekšstatu par kompostēšanas tehnoloģiju

priekšrocībām, jo ekosistēmas maksimālu ilgtspējību visvairāk ietekmē kompostēšanas cikla kopējā energoefektivitāte.

### Energoefektivitātes novērtēšanas metodes

Kompostēšanas energoefektivitāte izmantojama tehnoloģiju savstarpējai salīdzināšanai un to ietekmes uz vidi novērtēšanai. Iespējami objektīvam kompostēšanas tehnoloģiju raksturojumam nepieciešams sastādīt enerģētisko bilanci visam komposta ražošanas un izmantošanas ciklam. Kompostēšanas process no ekosistēmas ilgtspējas viedokļa ir izvērtējams ilgstošā periodā no komposta izejvielu ieguves līdz komposta izmantošanas beigām, t.i. līdz augi ir izmantojuši kompostā ietvertās augu barības vielas un beigusies komposta stimulējošā ietekme uz augu attīstību. Pilna kompostēšanas cikla enerģētiskās efektivitātes koeficients  $R$  ir kompostēšanas procesā un komposta izmantošanā iegūtās enerģijas attiecība pret kompostēšanas ciklā patērēto enerģiju:

$$R = \frac{Q_q + Q_c + Q_a}{E_z + E_t + E_e + E_d} \quad (1)$$

kur,  $Q_q$  - kompostēšanas procesā izdalītais siltuma daudzums, MJ;  $Q_c$  – kompostā, izmantotajās notecēs un gāzēs ietvērto augu barības elementu ekvivalentā enerģija, MJ;  $Q_a$  – komposta pielietošanas rezultātā neiestrādāto augu aizsardzības un augu augšanu veicinošo līdzekļu ekvivalentā enerģija, MJ;  $E_z, E_t, E_e, E_d$  - enerģijas patēriņš kompostēšanas ciklā attiecīgi izejvielām, tehniskajiem līdzekļiem, energoresursiem un darbaspēkam, MJ.

### Kompostēšanas ciklā patērētā enerģija

Komposta izejvielu enerģiju var izteikt kā izejmateriālos ietvērto augu barības vielu un bioloģiski aktīvo komposta piedevu rūpnieciskai ražošanai patērēto enerģiju summu:

$$E_z = \sum_{i=1}^n e_{mi} M_{mi} + \sum_{j=1}^m e_{pj} M_{pj} \quad (2)$$

kur,  $i = 1, 2, \dots, n$  un  $j = 1, 2, \dots, m$  - attiecīgi  $i$ -tās augu barības vielas un  $j$ -tās bioloģiski aktīvās piedevas kārtas numuri;  $e_m, e_p$  – attiecīgi augu barības vielas un bioloģiski aktīvās piedevas rūpnieciskai ražošanai patērētā ekvivalentā enerģija, MJ/kg;  $M_m$  - augu barības vielas masa komposta izejmateriālos, kg;  $M_p$  - bioloģiski aktīvās piedevas masa komposta izejvielās, kg.

Enerģijas patēriņu tehniskajiem līdzekļiem (būvēm, iekārtām, inventāram) kompostēšanas procesa nodrošināšanai aprēķina:

$$E_t = \sum_{i=1}^n e_{ti} M_{ti} \Theta_{ti} \quad (3)$$

kur,  $i=1, 2, \dots, n$  – tehniskā līdzekļa kārtas numurs;  $e_t$  - tehniskā līdzekļa izmantošanas enerģētiskais ekvivalents, MJ/h·kg;  $M_t$  - tehniskā līdzekļa masa, kg;  $\Theta_t$  – tehniskā līdzekļa izmantošanas laiks, h;

Energoresursu patēriņš biomasas kompostēšanas ciklā:

$$E_e = \sum_{i=1}^n e_{fi} M_{fi} + \sum_{j=1}^m E_{ij} \quad (4)$$

kur,  $i = 1, 2, \dots, n$  un  $j = 1, 2, \dots, m$  - attiecīgi degvielas un elektroenerģijas patērētāja kārtas numurs;  $e_f$  – degvielas enerģētiskais ekvivalents, MJ/kg;  $M_f$  – patērētās degvielas masa, kg;  $E_l$  – j-tā patērētāja elektroenerģijas patēriņš, MJ.

Darbaspēka ekvivalentā enerģija:

$$E_d = \sum_{i=1}^n e_{di} c_{di} \quad (5)$$

kur,  $i = 1, 2, \dots, n$  – darbaspēka kārtas numurs;  $e_d$  - darbaspēka enerģētiskais ekvivalents, MJ/h;  $c_d$  – cilvēkstundu skaits, h.

### Kompostēšanas ciklā iegūtā enerģija

Tehnoloģiju energoefektivitātes paaugstināšanai daļu no kompostēšanas procesā radītās siltuma enerģijas ieteicams lietderīgi izmantot grīdu apsildīšanai, ražas žāvēšanai, siltumnīcu apsildei un citām vajadzībām. Kompostēšanas procesā izdalītais siltums  $Q_q$ :

$$Q_q = k_m m_o k_q q_c \quad (6)$$

kur,  $k_m$  – komposta sausnas samazināšanās koeficients;  $m_o$  - komposta sausna kompostēšanās perioda sākumā, kg;  $k_q$  - komposta siltuma enerģijas lietderīgas izmantošanas koeficients;  $q_c$  – kompostēšanās procesā izdalītais siltuma daudzums uz vienu kilogramu sadalītās sausnas, MJ/kg.

Komposta sausnas samazināšanās koeficients kompostēšanās periodā:

$$k_m = \frac{m_{sov}}{m_0} \quad (7)$$

kur,  $m_{sov}$  - bioloģiski sadalītās organiskās vielas daudzums kompostēšanās periodā, kg. Kompostēšanas periodā sadalīto sausnu var aprēķināt, ja zināms maisījuma pelnu saturs kompostēšanas perioda sākumā un beigās:

$$m_{sov} = m_0 - m_{p(\theta)} \left( \frac{100}{\% p_{(\theta)}} \right) \quad (8)$$

kur,  $m_{p(\theta)}$  - komposta pelnu masa kompostēšanās perioda sākumā, kg;  $\% p_{(\theta)}$  - pelnu saturs procentos pēc kompostēšanās laika  $\theta$ .

Komposta siltuma enerģijas izmantošanas koeficients:

$$k_q = \frac{q_l}{q_l + q_g + q_z} \quad (9)$$

kur,  $q_l$  – lietderīgi izmantotā kompostēšanas siltuma enerģija, J;  $q_g$  - gaisa uzsildīšanai un ūdens iztvaikošanai patērētā siltuma enerģija, J;  $q_z$  – siltuma enerģijas zudumi caur komposta tilpnes sienām, J.

Siltuma zudumi gaisa uzsildīšanai un ūdens iztvaikošanai kompostēšanās procesā:

$$q_g = m_g [(C_{p_a} + C_{p_v} x_1)(T_2 - T_1) + r(x_2 - x_1)] \quad (10)$$

kur,  $m_g$  – patērētā gaisa masa kompostēšanas periodā, kg;  $C_{p_a}$ ,  $C_{p_v}$  – īpatnējā siltuma enerģija attiecīgi gaisam un ūdens tvaikiem patstāvīgā spiedienā, J/kg·K, ( $C_{p_a} = 1005$  J/kg·K,  $C_{p_v} = 1968$  J/kg·K);  $T_1$ ,  $T_2$ , – gaisa temperatūra attiecīgi kompostēšanas tilpnes ieplūdē un izplūdē, K;  $x_1$ ,  $x_2$  – ūdens tvaiku masa gaisā attiecīgi kompostēšanas tilpnes ieplūdē un izplūdē, kg/m<sup>3</sup>,  $r$  – ūdens iztvaikošanas īpatnējais siltums, J/kg, ( $r = 2491000$  J/kg). Kompostēšanas siltuma izmantošanas koeficienta paaugstināšanai daļu no iztvaikotā mitruma kondensē un radušos šķidrums kopā ar komposta sulu izmanto kā vērtīgu mēslojumu.

Siltuma zudumi  $q_z$  caur tvertnes sienām pie vienādas siltuma plūsmas caur katru tilpnes sienas laukuma vienību:

$$q_z = \frac{\Delta T \sum S_i}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{\delta_a}{\lambda_a} + \frac{1}{\alpha_a}} \quad (11)$$

kur,  $\Delta T$  – temperatūru starpība starp kompostēšanas tilpnes iekšpusi un ārpusi, K;  $S_i$  – tilpnes sienas iekšējās virsmas laukums, m<sup>2</sup>;  $\delta_i$ ,  $\delta_{iz}$ ,  $\delta_a$  – biezums attiecīgi iekšējam, siltuma izolācijas un ārējam tilpnes sienas slānim, m;  $\lambda_i$ ,  $\lambda_{iz}$ ,  $\lambda_a$  – siltuma vadīšanas koeficients attiecīgi iekšējam, siltuma izolācijas un ārējam tilpnes sienas slānim, W/m·K;  $\alpha_i$ ,  $\alpha_a$  – siltuma pārvades koeficients attiecīgi no komposta uz tilpnes iekšējo virsmu un no tvertnes ārējās virsmas uz apkārtējo vidi, W/m<sup>2</sup>·K.

Siltuma zudumu samazināšanai piemērotākā ir biomasu kompostēšana siltumizolētās tilpnēs, piemēram, konteineros vai arī siltumnīcās. Augu barības elementu enerģiju kompostā, lietderīgi izmantotajās notecēs un gāzēs var aprēķināt kā enerģijas patēriņu augu barības vielu rūpnieciskai ražošanai:

$$Q_c = \sum_{i=1}^n e_{mi} (m_{ki} + m_{ni} + m_{gi}) \quad (12)$$

kur,  $m_c$ ,  $m_n$ ,  $m_g$  – i-tās augu barības vielas masa attiecīgi kompostā, lietderīgi izmantotajās notecēs un gāzēs, kg.

Augu barības vielu daudzums kompostā vienmēr ir mazāks par šo vielu daudzumu komposta izejmateriālos, jo daļa augu barības elementu iztvaiko vai noplūst ar noteci biomasas pirmapstrādes, uzglabāšanas un kompostēšanas laikā. Augu barības vielu zudumus var būtiski samazināt, ja noteces no biomasas uzkrāj tilpnēs un vēlāk tās izmanto komposta mitrināšanai vai augu mēslošanai. Kompostēšanās procesā izdalītās gāzes, piemēram, ogļskābo gāzi, iespējams izmantot siltumnīcu augu barošanai.

Komposta pielietošanas rezultātā samazinās pesticīdu lietošana vai arī tie nav nepieciešami. Tā, piemēram, kompostētu municipālo atkritumu pielietošana līdz 20 % no augsnes tilpuma samazināja mikroorganisma *Phytophthora nicotianae* izraisītās citrusaugu sakņu puves izplatību no 95 % līdz 5 % [2]. Savukārt komposta pielietošana ik pēc trīs nedēļām samazināja zālāju lapu plankumainības izraisītāja *Sclerotinia homoeocarpa* bojājumus līmenī, kas pēc iedarbības bija ekvivalents zāles apsmidzināšanai ar ražotāja noteikto minimālo fungicīda devu vienu reizi divās nedēļās [3]. Kompostu labvēlīgo ietekmi

augu aizsardzībai no slimībām un to stimulējošo ietekmi uz augu attīstību aprēķina kā līdzvērtīgas iedarbības neiestrādāto rūpnieciski ražoto preparātu ekvivalento enerģiju:

$$Q_a = \sum_{i=1}^n e_{si} m_{si} + \sum_{j=1}^n e_{vj} m_{vj} \quad (13)$$

kur,  $e_{si}$ ,  $e_{vj}$  – attiecīgi  $i$ -tā augu slimības ierobežojošā un  $j$ -tā augu augšanu veicinošā preparāta enerģētiskais ekvivalents, MJ/kg;  $m_s$ ,  $m_v$  – komposta pielietošanas rezultātā neiestrādātā rūpnieciski ražotā  $i$ -tā augu slimības ierobežojošā un attiecīgi  $j$ -tā augu augšanu veicinošā preparāta masa, kg.

Ja nav pieejami dati par rūpnieciski ražotiem preparātiem ar kompostam ekvivalentu iedarbību, kompostu stimulējošo ietekmi uz augu attīstību var novērtēt ar papildus ražas ekvivalento enerģiju:

$$Q_a = \sum_{i=1}^n e_{ri} m_{ri} \quad (14)$$

kur,  $i = 1, 2, \dots, n$  – ražas novākšanas gads pēc komposta iestrādes,  $e_r$  – papildus ražas enerģētiskais ekvivalents, MJ/kg;  $m_r$  – papildus iegūtās ražas masa, kg;

Piemēram, saskaņā ar M.Vīnkālnes pētījumiem bakterizēta komposta pielietošanas rezultātā pirmajā gadā kāpostu raža palielinājās par 2640 kg/ha, otrajā gadā kartupeļu raža palielinājās par 1320 kg/ha un trešajā gadā miežu raža par 360 kg/ha salīdzinājumā ar nebakterizēta komposta pielietošanu [4]. Bakterizēta komposta ietekmes ekvivalentā enerģija ir aprēķināma kā trijos gados iegūto papildus ražu summārā enerģija. Šajā gadījumā komposta izmantošanas pilnā cikla ilgums ir trīs gadi un energoefektivitātes novērtējumā netieši (caur ražu) tiek iekļauta arī meteoroloģisko apstākļu ietekme, konkrētās augsnes un kultūraugu īpašības, mēslošanas un augsnes apstrādes tehnoloģiju ietekme.

Neievērtējot kompostēšanas pielietošanas rezultātā iegūto enerģiju, praksē nereti aprēķina komposta ražotāja enerģijas patēriņu vienas komposta masas vienības ražošanai:

$$e_k = \frac{E_z + E_t + E_e + E_d}{m_k} \quad (15)$$

kur,  $e_k$  – enerģijas patēriņš vienas tonnas komposta ražošanai, MJ/t;  $m_k$  – komposta masa, t.

### Iekārtas kompostēšanas procesa enerģētikas pētījumiem

Kompostēšanas tehnoloģiju energoefektivitāti ietekmējošie faktori (biomasu īpašības, biomasu sadalīšana enerģija, kompostēšanas siltums u.c.) ilgstošā laika periodā pētīti LLU Mehānikas zinātniskajā laboratorijā un Lauksaimniecības enerģētikas institūtā. Biomasu enerģētikas pētījumiem laboratorijas un lauka apstākļos izmantoti svārsta tipa stends [5], iekārta ezera apauguma griešanai [6], kompostēšanas kameras un apsildāmas grīdas panelis [7], [8], lauka iekārta noteču no kompostiem pētījumiem [9] un citas iekārtas.

### Rezultāti

Pētījumos noteikti augu barības vielu zudumi ar notecēm no kompostējamās biomasas un aprēķināta to ekvivalentā enerģija, kas vienāda ar enerģijas patēriņu konkrētā minerālmēsli veida rūpnieciskai ražošanai (Tabula 1).

Tabula 1.

**Augu barības vielu zudumi notecēs no kompostiem**

Kompostējamais materiāls	Kompostēšanas periods, diennaktis	Organiskās vielas samazinājums %	Noteces no sākuma masas %	Augu barības vielu saturs notecēs, %			Augu barības vielu zudumu ekvivalentā enerģija, MJ/t		
				N	P	K	N	P	K
Pakaišu kūtsmēsli	150	56	35	0.167	0.020	0.137	50.62	0.15	0.04
Virtuves atlikumi	92	56	43	0.019	0.005	0.134	7.14	0.27	4.81
Virtuves atlikumi + salmi (5 %) + zāģu skaidas (5%)	102	43	14	0.020	0.007	0.290	2.42	0.12	3.37

Noteikts, ka 5 mēnešu laikā notecēs no pakaišu kūtsmēsliem aizplūst 13% slāpekļa, 8.5% fosfora un 10.2% kālija, kuru ekvivalentā enerģija ir 0.98 % no kopējās izejvielu enerģijas. Kompostēšanas procesā sadaloties kūtsmēsli organiskajai vielai ar gāzēm apkārtējā vidē aizplūst 55 % oglekļa un 25 % slāpekļa (amonjaka formā), kuru kopējā enerģija ir 41.4% no kopējās izejvielu enerģijas. Minerālmēsli rūpnieciskās ražošanas enerģētiskais ekvivalents ir 86.6 MJ/kg, slāpeklim 12.6 MJ/kg fosforam un 8.3 MJ/kg kālijam [10]. No katras tonnas ar sākotnējo augu barības vielu ekvivalento enerģiju 5199 MJ gatavajā kompostā tiek pārnesti 2389 MJ jeb 57.6% no sākotnējās izejvielu augu barības vielu ekvivalentās enerģijas. Noteces iespējams samazināt vai novērst pievienojot kompostam mitrumietilpīgus materiālus. Izpētīts, ka pievienojot virtuves atlikumiem (mitrums 88 %) 25 % gaissausu (mitrums 12%) ezera apaugumu, noteces netiek novērotas visā 21 dienu ilgajā kompostēšanās periodā.

Biomasu kompostēšanās laikā izdalītā siltuma enerģija pieaug uzlabojoties komposta aerācijai, piemēram, glikozei aerobā procesā izdalītā teorētiskā enerģija ir 6.8 reizes lielāka par anaerobā procesā izdalīto siltuma daudzumu. Kompostēšanas kamerā noteiktais īpatnējais izdalītais siltuma daudzums (enerģētiskais ekvivalents) nedrēm aerobos kompostēšanās apstākļos ir 15.91 MJ/kg, bet daļēji aerobos kompostēšanās apstākļos sienam 14.47 MJ/kg un svaigai zālei 13.97 MJ/kg sadalītās organiskās vielas, kas ir attiecīgi 83.7 %, 76.2 % un 73.5 % no vidējā organiskās vielas sadegšanas siltuma - 19 MJ/kg [10]. Var pieņemt, ka nodrošinot kompostu aerāciju, aptuveni 90 % no sadalītās organiskās vielas pārvēršas ūdenī un ogļskābajā gāzē. Radušos ogļskābo gāzi iespējams sekmīgi izmantot siltumnīcās augu piebarošanai un tādējādi palielināt kompostēšanas tehnoloģiju energoefektivitāti. Piemēram, izmantojot siltumnīcās kūtsmēsli kompostēšanās procesā izdalīto ogļskābo gāzi 50 kg uz tonnu izejmateriāla, var ietaupīt dabas gāzi ar ekvivalento enerģiju 4266 MJ, ja dabas gāzi sadedzina tikai lai ražotu ogļskābo gāzi un neizmanto tās degšanas procesā radušos siltumu.

Izdalīto amonjaka gāzi iespējams daļēji saistīt siltumnīcas augsnē vai to uztvert ar biofiltrā (piemēram, komposta un zāģu skaidu maisījums) aktīvi darbojošos mikroorganismu palīdzību. Pēc amonjaka koncentrācijas samazināšanās komposta gāzes augu piebarošanai caur lapām bez var ievadīt tieši siltumnīcā. Izmantojot lietderīgi 90 % no pakaišu kūtsmēsli kompostēšanās procesā izdalītā amonjaka, iespējams ietaupīt 1 kg slāpekļa uz tonnu izejmateriāla, kura rūpnieciskās ražošanas ekvivalentā enerģija ir 87 MJ.

Ar kompostēšanas konteinerā ievietotā siltummaiņa un siltumnesēja kontūra palīdzību grīdas paneļa apsildīšanai iespējams lietderīgi izmantot 43-69 % no kompostēšanas procesā izdalītās siltuma enerģijas [6]. Pieņemot, ka lietderīgi tiek izmantots 60 % no kūtsmēsli kompostēšanās siltuma, ietaupītā enerģija ir 1716 MJ uz tonnu izejmateriāla.

Enerģijas patēriņu kompostu ražošanai iespējams būtiski samazināt pilnveidojot esošās iekārtas biomasu pirmapstrādei un kompostēšanai. Tā, piemēram, izveidojot kombinētu agregātu stiebru biomasu smalcināšanai, iekraušanai un transportam ar uzlabotiem smalcinātāja parametriem un pilnveidojot komposta stirpu veidošanas tehnoloģiju iespējams

samazināt kompostu gatavošanas tehnoloģiju energoietilpību no 229 MJ/t uz 181 MJ/t komposta jeb par 21 % [11].

Pieņemot, ka materiāliem, tehniskajiem līdzekļiem un darbaspēkam patērētās enerģijas tradicionālai un uzlabotai kūtsmēslu kompostēšanās tehnoloģijām ir vienādas - 5638 MJ, iegūtā enerģija tradicionālai kompostēšanās tehnoloģijai ir vienāda ar kompostā ietverto augu barības elementu ekvivalento enerģiju – 2667 MJ, bet uzlabotai tehnoloģijai (izmantojot kompostēšanas siltumu, noteces un gāzes) – 8792 MJ. Energoefektivitātes koeficienti tradicionālai tehnoloģijai ir 0.45, bet uzlabotai potenciāli iespējams ir 1.5 (ja neņem vērā papildus aprīkojuma izmaksas uzlabotai tehnoloģijai). Energoefektivitātes koeficienta pieaugums parāda potenciālās iespējas ietaupīt enerģiju, minerālmēslus un samazināt siltumnīcas gāzu izmešus kompleksi izmantojot noteces no biomasām, kompostēšanas siltumu, gāzes un augu barības elementus. Kompostēšanas pilna cikla (ievērtējot arī ražu pieaugumu) energoefektivitātes precīzai novērtēšanai nepieciešami papildus agronomiski pētījumi, kas veicami katrai lauksaimniecības kultūru augu sekai atsevišķi. Aprēķinot pilna kompostēšanas cikla energoefektivitāti pie patērētās enerģijas jāpieskaita arī komposta iestrādes ekvivalentā enerģija.

Enerģijas patēriņš papildus kompostēšanas aprīkojumam var būtiski atšķirties atkarībā no biomasu resursiem, to piegādes attāluma, komposta, noteču, gāzu un siltuma enerģijas izmantošanas iespējām. Enerģijas patēriņu var samazināt optimizējot kompostēšanas tehnoloģijas, piemēram, ierīkojot kompostēšanas laukumus (tilpnes, konteinerus) jau esošo potenciālo komposta un to blakusproduktu izmantotāju tiešā tuvumā, tilpnēm izmantojot lietotus konteinerus, neizmantotas ēkas, siltumnīcas un izmantojot no otrreizējiem materiāliem gatavotus izstrādājumus.

## Secinājumi

1. Izveidotais matemātiskais modelis ļauj novērtēt pilna kompostēšanas cikla vai tās atsevišķu posmu energoefektivitāti.
2. Kompleksi izmantojot kompostēšanās procesā radušās noteces, gāzes un siltuma enerģiju pakaišu kūtsmēslu komposta ražošanas tehnoloģijas enerģētiskās efektivitātes koeficientu iespējams palielināt no 0.45 līdz 1.5.

## Literatūra

1. Кива А., Рабштина В., Сотников В. Биоэнергетическая оценка и снижение энергоёмкости технологических процессов в животноводстве. Агропромиздат, Москва, 1990.-176 с.
2. Widmer T. Composted municipal waste reduces infection of citrus seedlings by *Phytophthora nicotianae*. Plant disease. June 1998. v. 82 (6), p. 683-688.
3. Boulter J. Evaluation of composts for suppression of dollar spot (*Sclerotinia homoeocarpa*) of turfgrass. Plant disease. Apr 2002. v. 86 (4). p. 405-410.
4. Švalkovska Dz. Bakteriālie mēslošanas līdzekļi. R., LVI, 1964, 56 lpp.
5. Plūme I. Pre-treatment of lake overgrowth. Proceedings of International Conference "Traditions and innovations in sustainable development of society. Environment and society. Information technologies". Rēzekne, RA, 2002., pp.145–152.
6. Kronbergs Ē, Plūme I un Kaķītis A. "Niedru sakņu apauguma izmantošana". 3-ās Starptautiskās konferences "Vide. Tehnoloģijas. Resursi " materiāli, 19–21. 06. 2001.g., Rēzekne, RA 2001. 54-60 lpp.
7. Kronbergs Ē. un Plūme I. (2000). Kompostēšanas racionāla izmantošana. Starptautiskā zinātniskā konference "Baltijas reģiona valstu integrācijas problēmas ceļā uz Eiropas Savienību", 2.-3.marts 2000., Rēzekne, RA, 2000, 59-63. lpp.
8. Plūme I. Heat utilisation from aerobic composting of agricultural wastes. Proceedings of International Conference "Trends in Agricultural Engineering" (TAE-'99), September 15-17.1999. Prague, Czech Republic, p. 509-513.
9. Plūme I. Noteču no organiskajiem mēsliem samazināšana. 3-ās Starptautiskās konferences "Vide. Tehnoloģijas. Resursi " materiāli, Rēzekne, RA 2001. 138-144 lpp.
10. Базаров Е., Широков Ю. Агрозооэнергетика. Агропромиздат, Москва, 1987.-156 с.
11. Plūme I. Ilgtspējīgas tehnoloģijas lauksaimniecības ražošanas blakusproduktu uzkrāšanai un pārstrādei. II starptautiskās zinātniski praktiskās konferences "Vide. Tehnoloģija. Resursi" materiāli, 25-27.06. Rēzekne, RA, 1999. 47-51 lpp.