

AUGU BIOMASA BIOGĀZES RAŽOŠANAI

Materiālu apkopojā Dr. agr. Zinta Gaile

Biogāzes ražošanai lauksaimniecībā var izmantot dažādu substrātu, piem., kūtsmēsli, enerģētiskie augi. Biogāzes ražošana ir viens no svarīgākajiem lauksaimniecībā ražotas biomasas kā atjaunojamā energoresursa izmantošanas veidiem. Pēc anaerobās sadalīšanas biogāzes substrātu – digestātu var izmantot kā mēslojumu lauku kultūraugiem (Bauer et al., 2007). Biogāzes iznākums lielā mērā ir atkarīgs no lietotā substrāta (Heiermann and Plochl, 2004). Atzīts, ka nav iespējams izveidot dzīvotspējīgu biogāzes ražošanas uzņēmumu, izmantojot tikai šķīdirmēslus. Mazāki biogāzes uzņēmumi (250 kWh elektrības), izmantojot tos pašus substrātus – kūtsmēsli, zāles un kukurūzas skābbarība – rentabli var būt vienīgi gadījumā, ja izmanto arī kā blakusefektu iegūto siltumu (Rösch et al., 2005).

Enerģētisko augu audzēšana dod ieguldījumu arī labvēlīgākas augmaiņas ieviešanā, vienmērīgākā darbaspēka sadalījumā sezonas laikā, ir pieļaujams nezāļu piejaukums augu biomasā (tas netraucē biogāzes ražošanai), ja vien nav jāuztraucas par sēklu izsēšanos, tiek nodrošināta labāka slāpekļa izmantošana (Jorgensen, 2006). Ja izmanto enerģētiskos augus, īpaši svarīgi ir iegūt maksimālo metāna ražu no 1 ha, jo tiem, atšķirībā no šķīdirmēsliem, ir jāatpelnā ražošanas izmaksas.

Kā **atslēgas faktori augstām biogāzes ražām no 1 ha nosaukti**: enerģētisko augu sugas un šķirnes izvēle, augu novākšanas laiks, skābēšana un pirmapstrādes paņēmieni, substrāta ķīmiskais sastāvs (Amon et al., 2006 – citēts pēc Bauer et al., 2007). Tas nozīmē, ka ir jāizstrādā optimāli enerģētisko augu audzēšanas paņēmieni (Bauer et al., 2007).

Amon et al. (2007a) biogāzes ražošanā no enerģētiskajiem augiem izšķir četras fāzes:

I fāze: biomasas izaudzēšana, kas ir atkarīga no agroklimatiskās zonas, **šķirnes**, augu audzēšanas paņēmieniem, **novākšanas laika**;

II fāze: biomasa sagatavošana turpmākai izmantošanai, kas ir atkarīga no novākšanas tehnoloģijas, smalcināšanas kvalitātes, konservantu lietošanas, ieskābēšanas kvalitātes;

III fāze: fermentācija, kas ir atkarīga no vides apstākļiem, skābējamās masa kvalitātes, fermentācijas tehnoloģijas;

IV gala produkta ražošana – biogāze un digestāts.

Tādējādi var secināt, ka liela daļa panākumu slēpjas tieši biomasas augu izaudzēšanas, novākšanas un ieskābēšanas tehnoloģiskajos risinājumos.

Augu biomasas izmantošana biogāzes ražošanai

Dažādi autori pētījuši dažādu augu izmantošanas iespējas, bet biežāk pētītie ir šādi: kukurūza (*Zea mays* L.), Graudzāļu (*Poaceae*) dzimtas zālaugi, āboliņi (*Trifolium*), Sudānas zāle (*Sorghum sudanense*), lopbarības bietes (*Beta vulgaris*) (Amon et al., 2007a), arī pirmās grupas labības (ziemas kvieši, tritikāle, rudzi, mieži), saulespuķes (Amon et al., 2007b). Bauer et al. (2007) atzīst, ka visbiežāk lietotie ir kukurūza, saulespuķes, stiebrzāles un Sudānas zāle. Kukurūzu atzīst par vienu no konkurētspējīgākajiem biomasa augiem biogāzes ieguvei augstā ražas potenciāla un lielā metāna iznākuma no 1 ha dēļ (Amon, 2002; Amon et al., 2007a, b;

Schittenhelm, 2008). Ir divi izšķiroši kritēriji, pēc kā izlemt, kuru kultūraugu izvēlēties biogāzes ražošanai:

- Specifiskais metāna iznākums, NL kg⁻¹ organiskās sausnas (NL – normlitrs – temperatūra 0 °C, spiediens 1013 mbar);
- Biomasas raža no platības vienības. (Amon et al., 2007a; Taube et al., 2007).

A. Adamovičs (Enerģētisko augu ..., 2007) apraksta šādu augu iespējamo izmantošanu biogāzes ražošanai Latvijā: kukurūza (*Zea mays* L.), silfija (*Silphium perfoliatum* L.), veirīha sūrene (*Polygonum weyrichii* F.Schmidt), malva (*Malvas* L.), lupīnas (*Lupinus* L.), amarants (*Amaranthus* L.), baltās sinepes (*Sinapis alba* L.), saulgriezes (*Helianthus annuus* L.), rapsis (*Brassica napus* ssp. *oleifera* Metzh), zālaugi – gan stiebrzāles (*Poaceae*), gan tauriņzieži (*Leguminosae*), topinambūrs (*Helianthus tuberosus* L.), kartupeļu (*Solanum tuberosum* L.) pārstrādes rūpniecības blakusprodukti – gremzdi un šķiedenis. Diemžēl pagaidām ir maz pētījumu, tieši kuri augi Latvijas apstākļos būtu piemērotākie, t.i., no kuriem iegūtu augstāko specifisko metāna iznākumu un no kuriem – visvairāk metāna no 1 ha. Pētījumu rezultāti par kukurūzas audzēšanu Latvijā (Gaile, 2008a, b) ir tikai daļēji izmantojami, jo nav veikti tieši ar mērķi iegūt augstāko biogāzes iznākumu, kā arī – biogāzes iznākums šo pētījumu laikā nemaz netika noteikts, netika arī analizēti visi kvalitatīvie rādītāji, kas to varētu ietekmēt.

A. Hermann et al. (2008) ziņo, ka Ziemeļvācijas pavalstī Šlēsvigā-Holšteinā biogāzes ražošanai galvenokārt izmanto šķidrmēslus kopā ar enerģētiskajiem augiem: visas ražotnes (100%) izmanto kukurūzu; pārējie izmantotie augi: zālaugi (14%), 1. grupas labības graudiem (25%) un 1. grupas labības skābbarībai (5%) ir ar nelielu nozīmi.

Kukurūza

Kukurūza daudzu autoru darbos atzīta par piemērotāko enerģētisko augu biogāzes ieguvei, ko nosaka gan specifiskais biogāzes iznākums no 1 kg organiskās sausnas, gan metāna iznākums no 1 ha. Rezultātā, piem., Vācijā prognozē, ka ar kukurūzu apsētās platības pieaugs no 156 000 ha 2006.gadā līdz 1.7 milj.ha 2015. gadā (Gömann et al., 2007, citēts pēc Schittenhelm, 2008).

Arī T. Amon et al. (2003, citēts pēc Taube et al., 2007) parādījis, ka, izmantojot kukurūzu, metāna iznākums ir ~12 000 Nm³ ha⁻¹ (Nm³ – normkubikmetri, t.i. pie 0°C temperatūras un 1013 mbar spiediena), izmantojot kviešu vai rudzu biomasu – ~3500-4000 Nm³ ha⁻¹, izmantojot intensīvi apsaimniekotus zālājus (3-4 plāvumi) – ~2500-3500 Nm³ ha⁻¹, bet ekstensīvi apsaimniekotus zālājus (1-3 plāvumi) – līdz ~1000 Nm³ ha⁻¹. Augstais metāna iznākums lielā mērā saistīts ar augsto kukurūzas biomasas ražu no 1 ha. Ir jau uzsākts realizēt selekcijas programmas speciālu hibrīdu veidošanai biogāzes ieguvei, kuru biomasas sausnas raža sasniegs pat 30 t ha⁻¹ (Landbeck and Schmidt, 2005, citēts pēc Schittenhelm, 2008). Arī citā T. Amon et al.(2007b) pētījumā kukurūza izrādījās produktīvāks biomasas augs biogāzes ražošanai.

H. Oechner et al. (2003) Luksemburgā pētījis 8 dažāda agrīnuma kukurūzas hibrīdus (agrīnuma indekss 240-700), lopbarības bietes, biešu lapas, saulespuķes, prosu. Kukurūza, vērtējot pēc specifiskā metāna iznākuma, izrādījās piemērotākais substrāts (autors to skaidro ar augsto kokšķiedras saturu biomasā). Arī vērtējot metāna iznākumu no 1 ha, nepārspēta

palika kukurūza, īpaši, ja to novāca ar sausas saturu 30-42%; zemāku metāna iznākumu, bet tomēr labāku kā citi pētītie augi, kukurūza nodrošināja, ja to novāca pirms dzeltengatavības sasniegšanas, kad sausas saturs bija 19.8-22.2%. Ekstensīvi mēslota kukurūza ražo mazāk metāna.

Eiropā (ES15) un Austrijā vidēja kukurūzas zaļmasas raža ir ap 40-42 t ha⁻¹, kas pie sausas satura 30% nodrošina ap 12 t ha⁻¹ sausas ražu (Amon et al., 2007a).

Lai maksimizētu kukurūzas ražu, svarīgs ir ūdens nodrošinājums. B. Wienforth et al. (2008) pētījis apūdeņošanas nepieciešamību dažāda agrārnuma hibrīdiem. S. Schittenhelm (2008), lai skaidrotu kukurūzas ražas veidošanos, vērtējis lapu laukuma indeksu (lieto Sun Scan analīžu sistēmu Delta-T Devices, Cambridge), ziedēšanas fāzes iestāšanos – drīksnu parādīšanās 50% augu. Vairāki autori vērtē arī auga garumu, to saistot ar kukurūzas ķīmisko sastāvu (piem., lignīna saturu).

Saulespuķes

Teorētiski (tā kā metāna iznākums ir atkarīgs no enerģētiski bagātām vielām kā, piem., lipīdi) augstam specifiskajam metāna iznākumam vajadzētu būt, izmantojot biogāzes ražošanai eļļas augus, bet empīriski pētījumi to nepierādīja. H. Oechsner (2003, citēts pēc Schittenhelm, 2008), izmantojot saulespuķes (*Helianthus annuus* L.), ieguva viszemāko metāna iznākumu. T. Amon et al. (2007b), pētot saulespuķes, izmantojis 2 dažādas šķirnes ar atšķirīgu taukskābju proporciju eļļā, taču uzskata, ka dažādo taukskābju klātesamība eļļā un tā nozīme metāna iznākumā vēl jāpēta.

Zālaugi

Stiebrzāles. No dažādām stiebrzāļu sugām iegūtais specifiskais metāna iznākums ir līdzīgs; to vairāk kā šķirne ietekmēja attīstības fāze, un līdz ar augu nobriešanu metāna ieguve samazinājās. Joprojām par šiem jautājumiem ir nepieciešami turpmāki pētījumi. Specifiskais metāna iznākums no kukurūzas un pirmās grupas labībām (piem., kvieši, rudzi, tritikāle) ir līdzīgs kā no stiebrzālēm, bet raža no 1 ha daudzviet ir augstāka. Vācijā kukurūza tiek izmantot 90% biogāzes ražotņū, kamēr zālaugi – 50% (Weiland, 2007 – citēts pēc Taube et al., 2007. Taube et al. (2007) ar aprēķiniem pierāda, **ka zālaugu izmantošana biogāzes ražošanai var sacensties ar kukurūzu tikai marginālos apgabalos** (kalnainā apvidū u.tml.), kur kukurūza zaudē savas priekšrocības.

P.Mahnert et al. (2005) pētījis **ganību airesnes, kamolzāles un pļavas lapsastes** izmantošanas iespējas biogāzes ražošanai. Nav konstatētas skaidras kādas sugas priekšrocības biogāzes ražošanai; tās visas atzītas par piemērotām un no tām var iegūt vairāk biogāzes kā no šķidrmēliem.

Stiebrzāļu–tauriņziežu mistri. Izmantojot āboliņa–stiebrzāļu maisījumu, tas jāpļauj stiebrzāļu vārpošanas sākumā; pļaujot vēlāk, metāna iznākums ievērojami samazinās – pat par 25% (Amon et al., 2004).

T.Amon et al. (2007b) pētījis zālaugu izmantošanu no kalnu rajoniem un ielejām; ielejā iegūts vairāk metāna no 1 ha, jo zālājs bijis produktīvāks.

Zālaugu izmantošanas priekšrocības. P.J. Jorgensen (2006) uzskata, ka no ekonomiskā viedokļa visizdevīgāk biogāzes ražošanai audzēt kukurūzu, bet no vides saglabāšanas viedokļa – zālaugus.

Zālaugu audzēšanai par labu runā arī vides saglabāšanas mērķi, jo daudzviet tie ir ainavas dabiska un tradicionāla sastāvdaļa, bet dzīvnieku ēdināšanai vairs nav vajadzīgi tik daudz (Bādene - Virtembergā, Vācijā, kur 39% no LIZ aizņem zālāji) (Rösch et al.,2005). Uzskata, ka, izmantojot zāles un kukurūzas skābbarību biogāzes ražošanai, uzņēmums var strādāt ekonomiski. Taču tur no zālaugiem iegūst sausas ražu 8.75-9.00 t ha⁻¹, veicot 2-4 plājumus. No zālaugiem ir tikai mazliet mazāks īpatnējais biogāzes iznākums salīdzinājumā ar kukurūzu (m³ no 1 t organiskās sausas), bet kukurūza dod lielāku ražu no 1 ha. Rezultātā no zālājiem 2 plājumos iegūst 4980 kWh ha⁻¹ elektrības, 3 plājumos – 6511 kWh ha⁻¹, 3 plājumos no augstzālājiem – 8083 kWh ha⁻¹, bet 4 plājumos – 8372 kWh ha⁻¹. Salīdzinājumam – no kukurūzas iegūti 14445 kWh ha⁻¹ elektrības (Rösch et al.,2005).

Pirmās grupas labības

M. Heiermann un M. Plochl (2004) salīdzinājuši ziemas miežu, rudzu, tritikāles un kukurūzas piemērotību biogāzes ražošanai, pie tam novācot augus dažādās attīstības fāzēs. Atzīmēts, ka rudziem un miežiem vairāk biogāzes (m³ kg⁻¹ organiskās sausas) iegūst, ja tos novāc piengatavības fāzē, bet par tritikāli secinājums neveidojas skaidrs – vairāk biogāzes iegūts, ja tritikāle novākta ziedēšanas fāzē, kas autoriem nešķiet loģiski.

Enerģētiskie augi ilgtspējīgā augmaiņā

Uzskata, ka biogāzes ražošanas potenciāls ir pat lielāks kā līdz šim domāja, ja vien ilgtspējīga sistēma ir aprēķinu pamatā. Pašreiz biogāzes ražošanai no enerģētiskajiem augiem izmanto galvenokārt kukurūzu. Uzskata, ka biogāzes ražošana no enerģētiskajiem augiem paplašināsies (Karpenstein-Manchan, 2005 – citēts pēc Amon et al., 2007b). Tad svarīgi būs ne vien izvēlēties kaut kādu vienu visizdevīgāko kultūraugu, bet gan audzēt enerģētiskos augus **ilgtspējīgā, apkārtējai videi draudzīgā augmaiņā** (Amon et al., 2007b; Bauer et al., 2007).

Biorafinēšanas koncepcijas pamats ir dažādu pārveidošanas procesu kompleksa izmantošana, piemēram: biodīzeļa, bioetanolā un biogāzes ražošana. Saskaņā ar A. Bauer et al. (2007) tam pamatā ir šāda stratēģija:

- 1) pārslēgšanās kultūraugu audzēšanā no pārtikas uz nepārtikas vajadzību apmierināšanu un otrādi, tādējādi nodrošinot pārtikas, lopbarības, izejvielu un enerģijas vajadzību;
- 2) kaskādes veida izmantošana: dažādas augu daļas izmanto dažādām vajadzībām, piem., iegūst cieti no kukurūzas graudiem, bet biogāzi no atlikušajām augu daļām;
- 3) audzēšana maisījumos, piem., saulespuķes un kukurūza;
- 4) piemērotāko šķirņu (genotipu) un novākšanas laika izvēle – lai iegūtu augstu biomasas ražu ar optimālu ķīmisko sastāvu.

Piem., izmanto šādi:

- kukurūza graudiem: graudi – bioetanolam, destilācijas procesa atlikumi – biogāzei, kukurūzas salmi – biogāzei;
- kvieši: graudi – bioetanolam, destilācijas atlikumi – biogāzei, kviešu salmi – biogāzei; pasējā – āboliņš – biogāzei;
- vasaras mieži: salmi – biogāzei;
- cukurbiešu lapas: biogāze; presētu grauzījumu skābbarība – biogāze;
- saulespuķes – salmi biogāzei; pasējā lucerna – biogāzei.

Jāņem gan vērā, ka salmus biogāzes ražošanai var izmantot tikai limitētā apjomā, labāk iepriekš apstrādātus, piem., ar tvaiku. Tādējādi augmaiņā vidēji gadā no 1 ha iegūst 84.1 GJ metāna un vēl 20.5 GJ metanola. Šajā augmaiņā ražo gan pārtiku, gan lopbarību, gan bioenerģiju. Pašreiz salmus bieži dedzina, bet sakarā ar organiskās vielas samazināšanos augsnē un arī nepieciešamību kaut kur likt pelnus, tas nav ilgtspējīgs risinājums.

P.J. Jorgensen (2006) Dānijā uzskata, ka visefektīvāk biogāzes ražošanai būtu izmantot kukurūzu un visa auga skābbarību, piem., no tritikāles. Efektu varētu dot arī starpkultūru izmantošana, piem., krustzieši pēc pamatkultūras ražas novākšanas.

S. Ford (2007) raksta, ka visvairāk biogāzes ražošanai izmanto kukurūzu, graudus, zālaugus. Hektārs kukurūzas nodrošina 2 kW elektrības, bet 1 ha graudu – 1.5 kW elektrības.

Substrāta sastāva vērtēšana

Maksimālai metāna ieguvei nepieciešams nodrošināt fermentera mikroorganismus ar visām vajadzīgajām barības vielām un enerģiju (Amon et al., 2007a). Dažādi pētnieki ir analizējuši veselu rindu substrātu raksturojošu rādītāju (kopā 31), kas varētu ietekmēt biogāzes iznākumu; citi, savukārt, apstrīd atsevišķu rādītāju nozīmi vai uzskata, ka jāanalizē pavisam citi rādītāji:

- pH vērtība;
- $\text{NH}_4\text{-N}$
- gaistošās taukskābes

Angelidaki et al., 1993; Batstone et al., 2000, 2001, Henze et al., 1986, McCarty and Mosey, 1991; Pavlostathis and Gossett, 1986 – citēts pēc Amon et al., 2007a

Amon et al. (2007a) uzskata, ka augšminētie rādītāji varētu būt svarīgi, biogāzi ražojot no organiskajiem atkritumiem, nevis no enerģētiskajiem augiem.

- C
- H
- N
- S

Buswell, 1936, Boyle, 1977 – citēts pēc Amon et al., 2007a
Amon et al., (2007a) uzskata, ka šeit nav ņemta vērā lignīna nozīme biogāzes iznākumā, pie tam normāli šos rādītājus neanalizē

- Ph
- sausnas saturs,
- koppelni,
- kopproteīns,
- koptauki,
- kokšķiedra,
- celuloze,
- hemiceluloze,
- ciete,
- cukuri,
- bezslāpekļa ekstraktvielas – tā ir sausnas daļa, kas nav kopproteīns, kokšķiedra, koptauki, koppelni;
- enerģētiskā ietilpība (gross energy – GE) – MJ kg^{-1} sausnas

Amon et al., 2002b, 2003, 2004a, Balsari et al., 1983 – citēts pēc Amon et al., 2007a; Amon et al., 2007a, 2007b – uzskata, ka metāna ražošana no organiska substrāta galvenokārt ir atkarīga no to vielu sastāva substrātā, kas var tikt pārveidotas par CH_4 un CO_2

- sausnas saturs;
- organiskās sausnas saturs;
- gaistošās taukskābes;
- pH
- C/N attiecība
- koproteīns;
- kokšķiedra;
- koptauki;
- saharīdi.

Mähnert et al., 2005; Linke and Mähnert, 2005
Organiskās sausnas saturs jānosaka, lai varētu
aprēķināt OLR (organic loading rate) –
organiskās vielas iekraušanas intensitāti
fermenterī

Šķiet, ka svarīgi ir tie paši rādītāji, kas nosakot barības kvalitāti mājdzīvniekiem, bet tomēr – biogāzes ražošanai kritēriji ir citi (Schittenhelm, 2008). Autors vērtē līdzīgus rādītājus kā Amon et al. (2007a), bet papildus arī NDF (neitrāli skalotā kokšķiedra) un ADF (skābi skalotā kokšķiedra), kā arī skābi skalojamo lignīnu, bet šie rādītāji ir saistīti ar hemicelulozes noteikšanu.

Substrāta sastāva ietekme uz biogāzes iznākumu

Kūtsmēsli vai šķidrmēsli. Augstāks proteīna līmenis kūtsmēslos nodrošināja augstāku metāna iznākumu, savukārt lignīna pieaugums – pazemināja. Konstatēta sakarība, ka, intensīvi barojot govīs, lignīna saturs mēslos palielinās un tādējādi – metāna iznākums samazinās, pie tam, lignīna saturs mēslos ir tieši atkarīgs no tā satura barības devā. Labākus šķidrmēsļus iegūst, govīs barojot ar labi sabalansētu barību un iegūstot vidēju piena izslaukumu (pēc izslaukuma Vecauces govīs tam atbilstu, bet kā ir ar barības devas sabalansēšanu?). Iegūstamais biogāzes daudzums no 1 kg govju šķidrmēsļu organiskās sausnas svārstās no 140 līdz 266 NL kg⁻¹ organiskās sausnas (NL – norm litre, pie 273 K (~0 °C) un 1.013 bar; Braun, 1982, citēts pēc Amon et al., 2007a). T. Amon et al. (2007a) savos eksperimentos ieguva biogāzi 208-268 NL kg⁻¹ organiskās sausnas, bet metāna iznākums bija 126-166 NL (kg OS)⁻¹. Lielais vairums bioloģiski noārdāmā oglekļa jau ir sagremots atgremotāju gremošanas procesā, tāpēc no govju mēsliem metāna iznākums vienmēr būs mazāks kā no putnu vai cūku mēsliem.

Metāna iznākums no šķidrmēsliem nekad nav konstants visa gada garumā; mainoties barības devai no ziemas barības uz vasaras barību (kad izēdināja arī svaigu āboliņu), metāna iznākums no kūtsmēsliem palielinājās (Amon et al., 2007a).

Biomasa. H. Oechner et al. (2003) uzskata, ka, pieaugot kokšķiedras saturam biomasā, mazinās substrāta noārdāmība un tādējādi mazinās specifiskais metāna iznākums.

El Bassam (1996, citēts pēc Heiermann un Plochl, 2004) uzskata, ka vislielāko biogāzes iznākumu nodrošina viegli noārdāmu ogļhidrātu (cukuri) un proteīna klātbūtne substrātā, bet metāna iznākumu pazemina augstāks hemicelulozes un lignīna saturs.

Grūti salīdzināt biogāzes ražošanas substrāta un lopbarības kvalitāti, jo sakarība starp lopbarības sagremojamību un metāna iznākumu nav cieša. Ir pat konstatēts, ka, pieaugot kokšķiedras saturam, pieaug metāna iznākums, bet, palielinātam kopproteīna saturam, kā liekas, ir negatīva ietekme (Eder, 2006; Groblichhoff et al., 2006 – citēts pēc Taube et al., 2007).

Atšķirīgās prasības lopbarībai un biogāzes substrātam nosaka tas, ka fermenterī substrāts atrodas daudz ilgāku laiku kā dzīvnieka gremošanas traktā, pie tam fermenterī mikroorganismu sastāvs arī ir atšķirīgs. Fermenterī celulozi var izmantot pat 80% (Ress et al., 1998 – citēts pēc Amon et al., 2007b), kamēr gremošanas traktā celulozi noārda līdz 59% (Gray, 1947 – citēts pēc Amon et al., 2007b) (Amon et al., 2007b).

Ražojot biogāzi, atslēgas faktors ir maksimāls metāna iznākums no 1 ha. A. Bauer et al. (2007) uzskata, ka, audzējot augus biogāzes ieguvei un audzējot tos pašus augus lopbarības ražošanai, – var būt nepieciešamas atšķirīgas novākšanas stratēģijas, jāizmanto speciālas šķirnes.

Vislielāko metāna iznākumu iegūst, izmantojot visa kukurūzas auga biomasu, nevis tikai vāļītes vai atsevišķas daļas. Tādējādi var uzskatīt, ka tieši daudzveidīgais ķīmiskais sastāvs nodrošina augstāku metāna ieguvi (Amon et al., 2007a, Landbeck and Schmidt, 2005, citēts pēc Schittenhelm, 2008).

Kukurūzas ķīmiskais sastāvs un tā izmaiņas

S. Schittenhelm (2008) atzīmē, ka no enerģiju saturošiem komponentiem kukurūzas sausrnā atrodams zems koptauku saturs: 2.5-3.5% sausrnā.

T. Amon et al. (2007a) pētījumos konstatējis, ka kopproteīna un pelnu saturs ar kukurūzas gatavību samazinās, bet koptauku saturs pieaug; vēlīnākiem hibrīdiem atzīmēts augstāks pelnu saturs. Arī kokšķiedras komponentu saturs: hemiceluloze, celuloze, lignīns – pieaug līdz ar nogatavošanos. Rādītāju vērtības var ietekmēt apstākļi audzēšanas gadā. Līdzīgi T. Amon et al. (2004) konstatējis, ka vienām un tām pašām kukurūzas šķirnēm vienādā attīstības fāzē var būt atšķirīgs ķīmiskais sastāvs, ja tās audzētas dažādās vietās.

C/N attiecība substrātā un tās nozīme

Anaerobajai metāna veidošanai vēlamā C/N attiecība atzīmēta 10-30 (Schattauer and Weiland, 2004; citēts pēc Amon et al., 2007a). Ja C/N attiecība ir pārāk plaša, tad nav iespējams oglekli (C) optimāli pārveidot par metānu (CH₄) un metāna ieguves potenciāls netiek sasniegts (Amon et al., 2007a). Jo kukurūza gatavāka, jo C/N attiecība veidojas plašāka (Amon et al., 2004, 2007a).

H. Oechner et al. (2003) uzskata, ka, ja attiecība ir 15 (kā atzīmēts biešu lapās), tad biomasa nevar tikt pilnīgi izmantota, kaut arī kokšķiedras saturs ir zems; substrātos ar C/N attiecību 37-45, kā lopbarības bietes un kukurūza, ir daudz vairāk pārveidojamās enerģijas.

V. Dubrovskis (Enerģētisko augu..., 2007) raksta, ka optimāla C/N attiecība ir 15-20, ir devis arī tabulu dažādu substrātu C/N attiecībām, bet nav iekļauti ne šķidrmēsli, ne kukurūzas skābbarība. V. Dubrovskim ir pieredze pat strādājot ar substrātu, kuram attiecība C/N = 8-10.

Kukurūzas ķīmiskā sastāva un metāna iznākuma sakarības

Eksistē modeļi (regresijas) kas vērtē metāna iznākumu (mono fermentācijas gadījumos) pamatojoties uz pH, NH₄-N, gaistošo taukskābju vērtībām substrātā (Henze et al., 1986; Pavlostahis and Gosset, 1986; McCarty and Mosey, 1991; Angelidaki et al., 1993; Batstone et al., 2000; – citēts pēc Amon et al., 2007b).

T. Amon et al. (2003, 2004, 2007a) izmanto modeļa veidošanai šādus rādītājus: sausrnas saturs, koppelni, kopproteīns, koptauki, kokšķiedra, celuloze, hemiceluloze, lignīns, ciete, bezslāpekļa ekstraktvielas, C/N attiecība. Konstatēts, ka kopproteīna (regresijas koeficients = 19.05), koptauku (regresijas koeficients = 27.3), celulozes (regresijas koeficients = 1.80) un hemicelulozes (regresijas koeficients = 1.70) saturs kukurūzā būtiski (p<0.0001) ietekmē metāna ieguvi.

$$(1) \text{ Methane Energy Value – MEV (NL(kg OS)}^{-1}) = \\ = 19.05 \times \text{CP (kopproteīns \% sausnā)} + 27.73 \times \text{CFa (koptauki \% sausnā)} + 180 \times \text{CEL (celuloze \% sausnā)} + 1.70 \times \text{HEM (hemiceluloze \% sausnā)} \text{ (Amon et al., 2007a)}$$

T. Amon et al. (2007b) citā rakstā uzsver tieši kopproteīna, koptauku, kokšķiedras un bezslāpekļa ekstraktvielu nozīmi – tie visi var tikt pārveidoti CH_4 un CO_2 . Tādējādi izveidots cits MEV.

$$(2) \text{ MEV (NL (kg OS)}^{-1}) = \\ = 15.27 \times \text{CP (kopproteīns \% sausnā)} + 28.38 \times \text{CFa (koptauki \% sausnā)} + 4.54 \times \text{CF (kokšķiedra \% sausnā)} + 1.12 \times \text{BEV (bezslāpekļa ekstraktvielas \% sausnā)}$$

Ja salīdzina abus modeļus, izmantojot viena un tā paša parauga ķīmiskā sastāva rādītājus, tad otrais modelis uzrāda augstāku metāna iznākumu no 1 kg organiskās sausas.

Līdzīgi modeļi tiek izstrādāti arī labībām (3) un zālaugiem (Amon et al., 2007b):

$$\text{Pirmās grupas labībām: (3) MEV (NL (kgVS)}^{-1}) = \\ = 5.904 \times \text{CP (kopproteīns \% sausnā)} + 3.791 \times \text{CF (kokšķiedra \% sausnā)} + 1.352 \times \text{BEV (bezslāpekļa ekstraktvielas \% sausnā)}$$

T. Amon et al. jau 2004. gadā rakstīja, ka metāna iznākums ir atkarīgs no substrāta ķīmiskā sastāva un bija atradis sakarības arī metāna iznākumam ar āboliņa – stiebrzāļu skābbarības galvenajiem ķīmiskā sastāva rādītājiem. Regresijas koeficienti metāna iznākuma novērtēšanai: kopproteīns 11.77; koptauki – 7.46; bezslāpekļa ekstraktvielas – 1.6; kokšķiedra 5.56. T. Amon et al. 2007.gadā (Amon et al., 2007b) raksta, ka modelis zālaugiem pagaidām vēl tiek pārbaudīts.

V. Dubrovskis (Energētisko augu..., 2007) sniedz šādu modeli:

$$(4) A = 0.92 L + 0.62p + 0.34 og, \text{ kur} \\ A - \text{biogāzes iznākums,} \\ L - \text{lipīdu saturs 1 g organiskās sausas,} \\ p - \text{proteīnu saturs 1 g organiskās sausas,} \\ og - \text{ogļhidrātu saturs 1 g organiskās sausas.}$$

J. Eder et al. (2005, citēts pēc Schittenhelm, 2008) atradis sakarību metāna iznākumam ar organiskās vielas sagremojamību *in vitro*, bet korelācija nav konstatēta ar citiem rādītājiem.

J. Eder et al. (2005, citēts pēc Schittenhelm, 2008) uzskata, ka cietes saturam kukurūzas sausnā jābūt vismaz 20%, bet Amon et al. (2007a) uzskata, ka cietes loma metāna ieguvē vēl papildus ir jāpēta. S. Schittenhelm (2008) konstatējis, ka apmierinošs metāna iznākums no kukurūzas iegūts jau pirmajās parauga ņemšanas dienās, gandrīz tūlīt pēc pirmo drīksnu parādīšanās, kad teorētiski sausnā vēl nemaz nav cietes (sastopami cukuri).

S. Schittenhelm (2008) arī veido multiplās regresijas modeļus, izmantojot SPSS programmu paketi. Taču pētījuma rezultātā nav konstatējis nevienu būtisku sakarību starp specifisko metāna iznākumu un kādu no pētītajām barības vielām. Visaugstākā būtiskā korelācija atzīmēta starp cietes un tauku koncentrāciju sausnā ($r = 0.911$, $p < 0.01$). Tā kā korelācija starp metāna iznākumu un kādu ķīmiskā sastāva komponentu nav atrasta, tad uzskata, ka pēc biomasas kvalitatīvajiem rādītājiem nevar paredzēt metāna iznākumu.

S. Schittenhelm (2008) norāda, ka arī agrākos pētījumos (Klass, 1984; Zauner and Kunzel, 1986) nav atrasta sakarība starp metāna iznākumu un kādu no substrātu ķīmiskā sastāva komponentiem. D.L. Klass (1984) pat norāda, ka viens un tas pats komponents, piem., celuloze, divos dažādos substrātos var būt ar atšķirīgu molekulas uzbūvi un tādējādi ar atšķirīgu noārdāmību.

Vairāki autori vērtē kukurūzas auga garumu no augsnes virsmas līdz pēdējās lapas pamatnei. A.Herrmann un F.Taube (2007, citēts pēc Schittenhelm, 2008) uzskata, ka augumā garākiem hibrīdiem stiebru sausnā būs vairāki lignocelulozes, lai nodrošinātos pret veldri; tāpēc šie hibrīdi varētu nodrošināt zemāku specifisko metāna iznākumu. Toties S. Schittenhelm (2008) norāda, ka vēlīnākie, augumā garākie hibrīdi, kam atzīmēts augstāks celulozes un lignīna saturs sausnā, deva augstāku specifisko metāna iznākumu nekā agrīnākie hibrīdi. Autors domā, ka to var skaidrot tādējādi, ka negatavas kukurūzas stiebru šūnu sienu frakcija mikrobioloģiskajai noārdīšanai pakļaujas vieglāk.

Enerģētisko augu novākšanas laika ietekme uz ražu un metāna iznākumu

Kukurūza. Dažādi autori (Amon, 2002; Amon et al., 2007a un šai darbā citētais J. Zscheischler et al., 1984) ir norādījuši, ka maksimālo kukurūzas ražu iegūst, ja sausnas saturs novācamajā zaļmasā sasniedz 30-35%. Kukurūza šajā laikā nodrošina ne vien maksimālo biomasas ražu, bet ir arī viegli ieskābējama. Raža pētītajām agrīnām un vidēji agrīnām šķirnēm (FAO 240-390) pieauga tikai līdz vaska gatavībai, bet vēlīnām šķirnēm (FAO 600) – līdz pat pilngatavībai.

T. Amon et al. (2007a) konstatējis, ka specifiskais metāna iznākums no 1 kg sausnas samazinās līdz ar kukurūzas nogatavošanos, bet H. Oechner et al. (2003, citēts pēc Amon et al., 2007a) secinājums ir tieši pretējs: vācot kukurūzu pirms vaska gatavības (sausnas saturs 22.2%) metāna iznākums no 1 kg sausnas bija zemāks kā vācot attīstības stadijā, kas tuvojas pilngatavībai.

T. Amon et al. (2007b) konstatējis, ka novākšanas laiks būtiski ietekmēja metāna iznākumu no 1 ha – vislielākais metāna iznākums no 1 ha iegūts, agrīnos un vidēji agrīnos kukurūzas hibrīdus novācot vaska gatavībā (171 diena pēc sējas), jo tad iegūta visaugstākā biomasas raža no 1 ha. Taču vēlīniem hibrīdiem, ražai pieaugot, lielākais metāna iznākums no 1 ha ir konstatēts tad, kad kukurūza tuvojas pilngatavībai. Lielākais pieaugums novērots periodā no piengatavības līdz vaska gatavībai. Tādējādi metāna iznākums no ha veidojas divos pretējos procesos: līdz ar nogatavošanos samazinās specifiskais metāna iznākums no 1 kg organiskās sausnas, toties pieaug sausnas raža, kas iznākumu no 1 ha ietekmē vairāk T. Amon et al. (2007a).

Pētot vairākus novākšanas laikus (96 līdz 194 dienas pēc sējas), S. Schittenhelm, (2008) Braunšveigā (52°17' N; 10°26' E, augstums virs jūras līmeņa 75 m) konstatējis, ka agrīnāki hibrīdi agrāk sasniedz fāzi, kad iespējams iegūt augstāko specifisko metāna iznākumu no 1 kg organiskās sausnas; vēlīnākie hibrīdi to sasniedza tikai pašos vēlākajos novākšanas datumos.

F. Taube un A. Herrmann (2006) atzīst, ka vēl daudz pētījumu vajadzīgs, t.sk., par optimālāko kukurūzas novākšanas laiku.

Pirmās grupas labības. M. Heiermann and M. Plochl (2004) arī secinājuši, ka metāna iznākums atkarīgs no novākšanas gatavības. Vēlamākā novākšanas gatavība miežiem – piengatavība, rudziem – piengatavība, tritikālei – ziedēšana līdz piengatavībai, kukurūzai – vēlākais novākšanas datums. Pirmās grupas labībām mīklas gatavībā atzīmēts zemāks metāna iznākums.

Savukārt T. Amon et al. (2007b) konstatējis, ka ziemas kviešiem augstāko biomasas ražu iegūst graudu mīklas gatavībā un pilngatavībā, tritikālei – ziedēšanas fāzē un graudu piengatavībā, rudziem – graudu mīklas gatavībā. Augstākais specifiskā metāna iznākuma maksimums iegūts no kviešiem. Ja vāc graudaugus tad, kad tos viegli ieskābēt – var iegūt 3200-4500 Nm³ metāna no 1 ha.

Skābēšanas vai citu substrāta apstrādes paņēmieni nozīme

T. Amon (2002) raksta, ka no skābētas kukurūzas ieguva 21% augstāku specifisko metāna iznākumu kā no svaigas, bet T. Amon et al. (2007a) pētījums liecina, ka no svaigas kukurūzas iegūst pat 25% mazāk metāna kā no tai pat fāzē novāktas ieskābētas kukurūzas. M.T. Madigan et al. (2000) uzskata, ka to var izskaidrot ar produktu, kuri ir biogāzes rašanos vēstoši un rodas skābēšanas procesā, klātbūtni: pienskābe, etiķskābe, metanols, spirts, skudrskābe, H⁺, CO₂. (citēts pēc Amon et al., 2007a).

T. Amon et al. (2007a) izsaka pieņēmumu, ka ieskābēšanas procesā kokšķiedra ir padarīta vieglāk izmantojama metānveidotājām baktērijām.

Arī āboliņa skābēšana palielina metāna iznākumu (Amon et al., 2004). Arī mieži, rudzi, tritikāle, kukurūza – skābēti dod vairāk biogāzes (Heiermann and Plochl, 2004). Autori uzskata, ka to nodrošina dažādie, t.sk., mikrobioloģiskie procesi skābēšanas laikā.

P. Mahnert et al. (2005), pētot ganību aireni, kamolzāli un pļavas lapsasti, nav konstatējis, ka to ieskābēšana palielinātu specifisko metāna iznākumu.

Pētīta kviešu salmu izmantošana biogāzes ražošanai. Salīdzināti 2 varianti: iepriekš neapstrādāti salmi un tādi, kas vispirms pakļauti tvaika ietekmei 20 min 180 °C temperatūrā. Izmantojot apstrādātos salmus, ieguva vairāk biogāzes (A. Bauer et al., 2007).

C. Perez Lopez et al. (2005) Austrijā pētīja kukurūzas graudu un skābbarības iepriekšējās apstrādes ietekmi uz biogāzes iznākumu. Autori uzskata, ka apstrāde varētu būt nepieciešama dēļ augstā celulozes un lignīna sastāva šajā substrātā. Celulozes pārvēršana metānā notiek divās pakāpēs – vispirms (hidrolīze) notiek lielo celulozes molekulu sašķelšana šķīstošā organiskajā vielā (vienkāršas, īsas ķēdes), pēc tam – notiek metanoģenēze. Izmantoja dažādu pirmapstrādes paņēmienu: malšana (abi substrāti), graudu turēšana ūdenī (400 g samaltu graudu turēja 200 mL ūdens 9 dienas 20 °C temperatūrā), autoklāvēšana (spiediens un karstums: 20, 40, 60 min 121 °C temperatūrā) un apstrāde ar sārmu (2% un 4% NaOH 24 stundas un 72 stundas) kukurūzas skābbarībai. Rezultātā metāna iznākums palielinājās, ja kukurūzas skābbarību sasmalcināja mazākos gabaliņos (palielinājās virsmas laukums) vai to apstrādāja ar sārmu (NaOH), bet no graudiem – ja tos samaltus mērcēja ūdenī. Graudu maluma smalkumam nebija nozīmes.

Skābbarības gatavošanas paņēmiena ietekme uz metāna ražu no kukurūzas

M. Neureiter et al. (2004) pētīja dažādu kukurūzas skābbarības gatavošanas paņēmienu ietekmi uz biogāzes iznākumu: 1. variants – nepievienoja nekādus ieraugus; 2. variants – pievienoja bakteriālo ieraugu SO₂ (satur homofermentatīvās pienskābes baktērijas); 3. variants – pievienoja bakteriālo ieraugu SO₃ (satur homo- un heterofermentatīvās pienskābes baktērijas maisījumā); 4. variants – pievienoja amilāzes preparātu (450 mg kg⁻¹ svaigas masas). Divos variantos skābbarības tika speciāli gatavotas tā, kā tā normāli bojājas: vienu paraugu nesapresēja un nehermetizēja, bet otram pievienoja sviestskābes baktērijas.

Pēc 44 un 119 dienām visi cukuri bija pārvērsti manitolā, pienskābē, etiķskābē, sviestskābē (tikai paraugam, kur bija pievienotas sviestskābes baktērijas) un etanolā. Citos

paraugos galvenais komponents no minētajiem bija pienskābe, kas nodrošināja pH līmeni zem 4.0 un tādējādi stabilu uzglabāšanu. Pietiekami pienskābes bija veidojies pat

nesablīvētajā un nehermetizētajā paraugā. Tika cerēts, ka amilāzes piedeva sašķels cieti cukuros, tos varēs izmantot pienskābes baktērijas un tādējādi palielināsies metabolītu iznākums. Taču cerēto efektu neguva, ko autori skaidro ar zemā pH līmeņa iespējamo bremsējošo ietekmi uz enzimatiskajiem procesiem. Apstrāde ar SO₃ veicināja etiķskābes veidošanos periodā starp 44. un 119. dienu. Arī etiķskābe veicina skābbarības aerobo stabilitāti.

Pēc 44 dienu skābšanas metāna iznākums no skābbarības bija līdzīgs kā svaigai masai – nebija būtisku atšķirību 95% ticamības līmenī. Pēc 119 dienām no skābbarības ieguva vairāk metāna; ļoti interesanti, ka vislielāko specifisko metāna iznākumu nodrošināja paraugs, kam bija pievienotas sviestskābes baktērijas (*Clostridium tyrobutyricum*). Autori to skaidro tādējādi, ka *C. tyrobutyricum* pievienošana nodrošina tādu vielu veidošanos, kas neveidojas normāli un pareizi gatavotā skābbarībā – atbilstoši analizēm šajā paraugā konstatēja lielāku daudzumu metabolītu ar mazāku molekulmasu. Augstāku specifisko metāna iznākumu nodrošināja arī paraugs, kam bija pievienota amilāze – to nevar izskaidrot ar metabolītu veidošanos, bet, iespējams, kaut kādu starpsavienojamu klātbūtni, kas netika noteikti. Tika izrēķināts arī, cik liels ir specifiskais metāna iznākums no skābbarības, ja to pārrēķina uz svaigu masu, jo var būt, ka mikrobioloģisko procesu rezultātā gan veidojas vairāk metāna, bet ir bijuši arī lieli masas zudumi. Tad vislabāko rezultātu nodrošināja parastā veidā gatavota skābbarība (bez piedevām) un tā, kurai pievienoja *C. tyrobutyricum*.

Autori secina, ka ne jau skābēšana pati par sevi veicina augstāku metāna iznākumu, bet tieši ieskābētās masas ilgstošā glabāšana. Secina arī, ka sviestskābes, ko par nevēlamu uzskata dzīvnieku ēdināšanai, klātbūtne veicina labāku metāna veidošanos.

Šķirnes ietekme uz biogāzes iznākumu

T. Amon (2002) raksta, ka kukurūzas hibrīdam ir ietekme uz specifisko biogāzes iznākumu, kas saistīts ar tā ķīmisko sastāvu. Lielāks specifiskais biogāzes iznākums bija no šķirnēm, kam, piemēram, koptauku saturs sausnā bija augstāks. Taču citos izmēģinājumos iegūti atšķirīgi secinājumi. Specifiskais metāna iznākums nebija saistīts ar hibrīda piederību dažādām agrīnuma grupām (Amon, 2002). Vēl citā izmēģinājumā T. Amon et al.(2007b) secināja, ka specifiskais metāna iznākums nav bijis atkarīgs no kukurūzas hibrīda, kaut arī lietoti 6 dažāda agrīnuma hibrīdi (FAO 380-600). Atšķirīga bija biomasa raža no platības vienības, kas savukārt nodrošināja atšķirīgu metāna ieguvu no 1 ha. Konkrētajos apstākļos ražīgāki izrādījās vidēji agrīni hibrīdi (FAO 380).

Viedokļi par to, kāds varētu būt ideāls kukurūzas hibrīds biogāzes ieguvei.

H.Oechner et al. (2003) uzskata, ka jāizstrādā jauni selekcijas uzdevumi, jo biogāzes kukurūza maksimālai metāna ieguvei noteikti atšķirsies no tās, ko izmanto skābbarības gatavošanai mājdzīvnieku ēdināšanai.

H. Degenhardt (2005, citēts pēc Schittenhelm, 2008) rekomendē izmantot mazliet vēlīnākus (50 FAO vienības) hibrīdus, nekā atzīts par konkrētai vietai piemērotiem. Viņš arī uzskata, ka selekcijas ceļā jāuzlabo proteīna un tauku saturs kukurūzas biomasa sausnā.

M. Landbeck un W. Schmidt (2005, citēts pēc Schittenhelm, 2008) savukārt uzskata, ka galvenais ir augsta sausnas raža – tai jāsasniedz 30 t ha⁻¹, taču šādi hibrīdi nebūs piemēroti Eiropas Ziemeļu apgabaliem, pie kuriem pieskaitāma arī Latvija.

T. Amon et al.(2007b) uzskata, ka jāizmanto vietējiem apstākļiem piemēroti hibrīdi, kurus novāc piengatavībā līdz dzeltengatavībā.

S. Schittenhelm (2008) novērojis, ka vēlinākie hibrīdi ir ar paaugstinātu jutību pret zemu gaisa temperatūru, tāpēc agrīnajās fāzēs aug lēnāk kā vietējiem apstākļiem piemērotie vidēji agrīnie hibrīdi. Taču šo atpalicību sākotnējās attīstības fāzēs pilnībā kompensē strauja

augšana vēlāk sezonā. S. Schittenhelm (2008) secina, ka vēlinākie hibrīdi tomēr nodrošina lielāku biogāzes ieguvu no ha; ja selekcijas ceļā uzlabotu to aukstuma izturību, tie varētu būt piemēroti.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

1. Amon T. (2002) Methane production from maize through anaerobic digestion: influence of variety and harvesting time. Research Project. Available at: https://forschung.boku.ac.at/fis/suche.projekte_uebersicht?sprache_in=en&projekt_id..., verified 14 February 2011
2. Amon T., Kryvoruchko V., Amon B., Zollitsch W., Potsch E.(2004) Biogas production from maize and clover grass estimated with the methane energy value system. In: EurAgEng: AgEng2004 Engineering the Future, 12-16 September 2004, Leuven, Belgium.
3. Amon T., Kryvoruchko V., Amon B., Zollitsch W., Mayer K., Gruber L. (2007a) Biogas production from maize and dairy cattle manure – influence of biomass composition on methane yield. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118, pp.173-182.
4. Amon T., Kryvoruchko V., Amon B., Machmuller A., Hopfner-Six K., Bodiroza V., Hrbek R., Friedel J., Potsch E., Wagentristl H., Schreiner M., Zollitsch W. (2007b) Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotation. *Bioresource Technology*, 98, pp. 3204-3212.
5. Bauer A., Hrbek R., Amon B., Kryvoruchko V., Bodiroza V., Wagentristl H., Zollitsch W., Liebmann B., Pfeffer M., Friedl A., Amon T.(2007) Potential of biogas production in sustainable biorefinery concepts. Available at: www.nas.boku.ac.at/uploads/media/OD7.1_Berliu.pdf; verified 14.02.2011.
6. Enerģētisko augu audzēšana un izmantošana (2007). Varika A. (sastādītāja), Valts SIA „Vides projekti”, 190 lpp.
7. Ford S. (2007) Spread it around: biogas in the grid. *Renewable Energy World*, Vol 10., issue 6, November 2007, pp. 1-4. Available at: www.renewable-energy-world.com/articles/article_display.cfm?ARTICLE_ID=314141&P=121. Verified 11 February 2011.
8. Gaile Z. (2008a) Impact of some agro-meteorological factors on maize (*Zea mays* L.) biomass production. Proceedings of the 5th International Workshop of UEAA „Renewable Energy resources, Production and Technologies”. Hera C., Hoffmann V., Rivza B., (Eds.). Riga, Zinatne, pp. 95-102.
9. Gaile Z. (2008b) Possible Utilization of Maize for Biomass Production in Latvia. Proceedings of the 10th Congress of the European Society for Agronomy. Italian Journal of Agronomy. Vol.3, No. 3 Suppl., pp.525-526.
10. Heiermann M., Plochl M. (2004) Crops – a big potential for biogas production. World Renewable Energy Congress 2004. Available at: www.atb-postdam.de/Hauptseite-

[deutsch/Institut/Abteilungen/Abt2/Mitarbeiter/mheiermann/publication/WREC_Denver HEIERMANN_PLOCH.html](http://deutsch/Institut/Abteilungen/Abt2/Mitarbeiter/mheiermann/publication/WREC_Denver_HEIERMANN_PLOCH.html), verified 5 August 2010.

11. Herrmann A., Taube F. (2006) The use of maize for energy production in biogas plants – is research up to date with agricultural practice? *Reports on Agriculture*, Exercise number 2, Available at: www.bmelv.de/nn_1015614/EN/13-Service/ReportsinAgriculture/Volume84/Number2.html, verified 14 February 2011.
12. Herrmann A., Mieke A.K., Taube F. (2008) Biogas production in Northern Germany – Status Quo and potential environmental effect. Proceedings of the 10th Congress of the European Society for Agronomy. Italian Journal of Agronomy. Vol. 3, No. 3, Suppl., pp.533-534.
13. Jorgensen P.J. (2006) No energy crops – no biogas plants. *Bioenergy Research* No.16, pp. 6-7.
14. Linke B., Mähnert P. (2005) Biogas production from cattle slurry and energy crops. 60 Landtechnik 5/2005, pp. 276-277. Available at: www.ltnet.lv=h.de/en/voltext/Lt20055E_276-277.pdf
15. Neureiter M., Teixeira Pereira dos Santos J., Perez Lopez C., Pichler H., Kirchmayr R., Braun R. (2004) Effect of silage preparation on methane yield from whole crop maize silages. Proceedings of 4th International Symposium „Anaerobic Digestion of Solid Waste”, Copenhagen, Denmark. Available at: www.iea-biogas.net/Dokumente/memberpublications/Neureite.pdf, verified 14 February 2011.
16. Mähnert P., Heiermann M., Linke B. (2005) Batch – and semi- continuous biogas production from different grass species. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript EE 05 010 . Vol. VII. December 2005. P. 11.
17. Oecgsner H., Lemmer A., Neuberg C. (2003) Crops as a Digestion Substrate in Biogas Plants. 58 Landtechnik 2/2003, pp.146-147.
18. Perez Lopez C., Kirchmayr R., Neureiter M., Braun R. (2005) Effect of physical and chemical pre-treatment on methane yield from maize silage and grains. Available at: www.renet.at/gfx/download/biogas/09_Kopenhagen_05Proc_cpl.pdf; verified 11 February 2011.
19. Rösch C., Raab K., Stelzer V. (2005) Surplus grassland – a new source of bio-energy? Proceedings of the 14th European Biomass Conference, France, Paris, pp.312-315.
20. Taube F., Herrmann A. (2006) The use of maize for energy production in biogas plants – is research up to date with agricultural practice? *Reports on Agriculture*, Vol. 84, No. 2. Available at: www.bmelv.de/nn_1015614/EN/13-Service/Reportson/Agriculture/volume84/Number2.html verified on 2 February 2011.
21. Taube F., Herrmann A., Potsch E.M. (2007) What are the consequences of producing energy crops in the European Union for grassland renovation and new forage production systems? *Grassland Science in Europe*, Volume 12, pp. 463-471.
22. Schittenhelm S. (2008) Chemical composition and methane yield of maize hybrids with contrasting maturity. *European Journal of Agronomy*, 29 (2008), pp.72-79.
23. Wienforth B., Schittenhelm S., Wulkau S., Herrmann A., Sieling K., Taube F., Kage H. (2008) Site adapted choice of energy crops for methane production – model based analysis of drought limitations on maize yield potential. Proceedings of 10th Congress of the European Society for Agronomy. Italian Journal of Agronomy. Vol. 3, No. 3 Suppl., pp. 497-498.