



Latvijas Lauksaimniecības universitāte  
Latvia University of Agriculture



IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ



*Mg.oec.* **Kaspars Naglis-Liepa**

**ALTERNATĪVĀS ENERĢIJAS (BIOGĀZES)  
RAŽOŠANAS IESPĒJAS LATVIJĀ**

**ALTERNATIVE ENERGY (BIOGAS) PRODUCTION  
POSSIBILITIES IN LATVIA**

Promocijas darba

**KOPSAVILKUMS**

ekonomikas doktora (*Dr.oec.*) zinātniskā grāda iegūšanai

Apakšnozare: Agrārā ekonomika

**SUMMARY**

of the Ph.D. thesis for the scientific degree *Dr.oec.*

Sub-sector: Agrarian economics

---

(paraksts)

Jelgava 2013

## INFORMĀCIJA

**Promocijas darbs** izpildīts Latvijas Lauksaimniecības universitātes Ekonomikas fakultātes Ekonomikas katedrā.

**Doktora studiju programma** – Agrārā un reģionālā ekonomika, apakšnozare–Agrārā ekonomika.

**Promocijas darba zinātniskā vadītāja** – LLU asoc.prof. *Dr.oec.* Modrīte Pelše.

### **Promocijas darba zinātniskā aprobācija noslēguma posmā**

- Prezentēts informatīvā seminārā 2012. gada 22. martā.
- Apspriests un aprobēts LLU Ekonomikas fakultātes Ekonomikas katedras akadēmiskā personāla pārstāvju sēdē 2012. gada 28. septembrī.
- Apspriests un aprobēts LLU Ekonomikas fakultātes starpkatedru (Uzņēmējdarbības un vadības, Ekonomikas, Grāmatvedības un finanšu) un Informācijas tehnoloģiju fakultātes Vadības sistēmu katedras akadēmiskā personāla pārstāvju sēdē 2012. gada 16. novembrī.
- Atzīts par pilnīgi sagatavotu un pieņemts Promocijas padomē 2013. gada 3.aprīlī.

### **Oficiālie recenzenti**

1. LLU Ekonomikas fakultātes Uzņēmējdarbības un vadības katedras vadītāja, asociētā profesore *Dr.oec.* **Andra Zvirbule-Bērziņa**.
2. RTU Inženierekonomikas un vadības fakultātes Būvuzņēmējdarbības un nekustāmā īpašuma ekonomikas un vadīšanas katedras profesors *Dr.oec.* **Jānis Vanags**.
3. Klaipēdas universitātes Ekonomikas fakultātes profesors, *Dr.hab.oec.* **Julius Ramanauskas**.

**Promocijas darba aizstāvēšana** notiks LLU Ekonomikas zinātņu nozares Agrārās ekonomikas un Reģionālās ekonomikas apakšnozaru Promocijas padomes atklātā sēdē 2013. gada 28.jūnijā plkst.13.00 Ekonomikas fakultātē (Svētes iela 18, Jelgava) 212. auditorijā.

Ar promocijas darbu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā (Lielā iela 2, Jelgava) un [http://llu.fu.lv/promoc\\_darbi.html](http://llu.fu.lv/promoc_darbi.html).

**Atsauksmes sūtīt** Promocijas padomes sekretārei Svētes ielā 18, Jelgava, LV–3001; tel. 63025170; e-pasts: [anita.auzina@llu.lv](mailto:anita.auzina@llu.lv). Atsauksmes vēlams sūtīt skenētā veidā ar parakstu.

**Promocijas padomes sekretāre** – LLU asoc.prof. *Dr.oec.* Anita Auziņa.

ISBN 978-9984-861-48-7 (online)

## INFORMATION

The Ph.D. thesis has been developed under the Department of Economics in the Faculty of Economics of Latvia University of Agriculture.

**Doctoral study programme** – Agrarian and Regional Economics, sub-programme – Agrarian Economics.

**Scientific supervisor of the Ph.D. thesis** – associated professor of LUA, *Dr.oec.* Modrīte Peļše.

### **Scientific approbation of the Ph.D. thesis at the final stage:**

- Presented at the informative workshop on 22 March 2012;
- Discussed and approbated at the meeting of academic staff representatives of the Department of Economics of the Faculty of Economics of Latvia University of Agriculture on 28 September 2012;
- Discussed and approbated at the meeting of academic staff representatives of the Departments of Economics, Business and Management, Accounting and Finance of the Faculty of Economics and the Department of Management Systems of the Faculty of Information Technologies of Latvia University of Agriculture on 16 November 2012;
- Accepted as fully complete at the Promotion Council on April 3 2013.

### **Official reviewers:**

1. *Dr.oec.* Andra Zvirbule – Bērziņa, associated professor, the head of the Department of Business and Management of the Faculty of Economics of Latvia University of Agriculture;
2. *Dr.oec.* Jānis Vanags – professor at the Division of Civil Construction and Real Estate Economics and Management of the Faculty of Engineering Economics and Management of Riga Technical University;
3. *Dr.habil.oec.* Julius Ramanauskas – professor at the Faculty of Economics of Klaipeda University.

**The final presentation of the Ph.D. thesis** will take place at the open meeting of the Promotion Council of the Agrarian and Economic sub-programmes of the Faculty of Economics of Latvia University of Agriculture on 28 June, 2013, 13.00, at 18 Svētes street, Jelgava, Auditorium No 212, Faculty of Economics, LUA. The PH.d. Thesis can be accessed at the Fundamental Library of LUA (2 Lielā street, Jelgava) and on [http://llufb.llu.lv/promoc\\_darbi.html](http://llufb.llu.lv/promoc_darbi.html).

**The reviews can be submitted** to the secretary of the Promotion Council at 18 Svētes street, Jelgava, LV-3001; tel.63025170; e-mail: [anita.auzina@llu.lv](mailto:anita.auzina@llu.lv). It is recommended to submit signed and scanned reviews.

**Secretary of the Promotion Council** – *Dr.oec.* Anita Auziņa, associated professor of LUA.

# SATURS

Informācija par publikācijām un zinātniskās pētniecības darbu .....	6
Publicity and information about scientific research work and academical work .....	8
IEVADS .....	10
1. EKONOMIKAS UN ENERĢIJAS RAŽOŠANAS MIJIEDARBĪBA .....	14
1.1. Enerģijas resursu veidu izmantošanas attīstība un izmaksu īpatsvars .....	14
1.2. Ārējie efekti (eksternalitātes) enerģijas ražošanā .....	16
1.3. Ekonomiskā attīstība un reģionālie ārējie efekti .....	16
1.4. Bioenerģijas ciematu izveides koncepcija negatīvo ārējo efektu samazināšanā enerģijas apgādē un sabiedrības līdzdalība tajā .....	17
1.5. Zemes lietojuma dilemma alternatīvās enerģijas ražošanai .....	18
2. ES POLITIKA ATJAUNOJAMO ENERĢIJAS RESURSU IZMANTOŠANĀ .....	19
2.1. Politiskais ietvars atjaunojamo energoresursu plašākai izmantošanai .....	19
2.1.1. Stratēģiskie mērķi un pamatvirzieni .....	19
2.1.2. Tirgus liberalizācijas politika .....	21
2.1.3. Normatīvais regulējums un atbalsta programmas Latvijā .....	21
2.2. Atjaunojamo energoresursu izmantošanu raksturojošie rādītāji .....	23
3. BIOGĀZES RAŽOŠANAS NOVĒRTĒŠANA .....	26
3.1. Biogāzes ražošanas simulācijas modelis .....	26
3.1.1. Enerģētisko augu audzēšanas izmaksu modelēšana .....	28
3.1.2. Substrāta fermentācija un biogāzes ieguve .....	30
3.1.3. Optimālā substrāta maisījuma noteikšana .....	30
3.1.4. Nepieciešamās lauksaimniecības zemes modelēšana .....	31
3.1.5. Biogāzes ražošanas enerģijas bilance .....	32
3.1.6. Siltumnīcas efekta gāzu apjoma novērtējums biogāzes ražošanā .....	36
3.1.7. Saražotās enerģijas apjoms un izmaksas .....	39
3.2. Digestāta izmantošanas efekts .....	40
3.2.1. Tirgus vērtības un nepieciešamā daudzuma noteikšana .....	40
3.2.2. Fosilo minerālmēslu aizvietošanas iespējas ar digestātu .....	43
3.2.3. Digestāta izmantošanas vides faktori .....	44
4. BIOENERĢIJAS CIEMATA IZVEIDES KONCEPCIJA .....	45
4.1. Izveides nosacījumi .....	45
4.1.1. Enerģijas resursu pieprasījums .....	46
4.1.2. Enerģijas resursu piedāvājums .....	47
4.1.3. Sabiedrības atbalsts bioenerģijas ciemata izveidei .....	47
4.2. Bioenerģijas ciematam nepieciešamās enerģijas ražošanas analīze .....	48
4.3. Bioenerģijas ciematu izveides iespējas aizvietojojot dabasgāzi .....	51
SECINĀJUMI .....	53
PROBLĒMAS UN TO RISINĀJUMI .....	56

# CONTENT

INTRODUCTION .....	58
1. PRODUCTION INTERACTION OF ECONOMY AND ENERGY .....	62
1.1. Development of the usage of the types of energy resources and the cost share ...	62
1.2. Externalities of energy production .....	63
1.3. Development of economic and regional externalities .....	64
1.4. Conception of the establishment of the bioenergy villages to reduce negative externalities in the energy supply and the participation of the society .....	64
1.5. The land use dilemma for the production of the alternative energy .....	66
2. EU POLITICS IN THE USE OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES .....	67
2.1. Political framework to the wider use of renewable energy resources .....	67
2.1.1. The strategic objectives and basic directives .....	67
2.1.2. Market liberalization policy .....	69
2.1.3. Regulatory framework and support programs in Latvia .....	69
2.2. Indicators of the use of renewable energy resources .....	71
3. EVALUATION OF BIOGAS PRODUCTION .....	74
3.1. Simulation model of biogas production .....	74
3.1.1. Costs modelling of energy crop cultivation .....	76
3.1.2. Fermentation of substratum and production of biogas .....	78
3.1.3. Determination of optimal composition of substratum .....	78
3.1.4. Modelling of required agricultural land .....	79
3.1.5. Energy balance of biogas production .....	80
3.1.6. Evaluation of amount of greenhouse effect gases in biogas production .....	84
3.1.7. Amount and costs of produced energy .....	88
3.2. Effect of digestate usage .....	89
3.2.1. Determination of market value and required amount .....	89
3.2.2. Substitution possibilities of fossil fertilizers with digestate .....	91
3.2.3. Environmental factors of the usage of digestate .....	92
4. CONCEPTION OF THE ESTABLISHMENT OF BIOENERGY VILLAGE .....	94
4.1. Conditions of establishment .....	94
4.1.1. Demand for energy resources .....	95
4.1.2. Supply of energy resources .....	95
4.1.3. Public support for the establishment of bioenergy village .....	96
4.2. Analyses of energy production required for bioenergy village .....	97
4.3. Possibilities of establishment of bioenergy villages substituting natural gas .....	100
CONCLUSIONS .....	102
PROBLEMS AND THEIR SOLUTIONS .....	106

## INFORMĀCIJA PAR PUBLIKĀCIJĀM UN ZINĀTNISKĀS PĒTNIECĪBAS DARBU

Sociālo zinātņu maģistrs ekonomikā Kaspars Naglis - Liepa promocijas darbu „Alternatīvās enerģijas (biogāzes) ražošanas iespējas Latvijā” ir izstrādājis laika periodā no 2007. gada līdz 2012. gadam LLU Ekonomikas fakultātes Ekonomikas katedrā ekonomikas doktores Modrītes Pelšes zinātniskajā vadībā.

### Publicētie zinātniskie raksti

Par pētījumu rezultātiem un promocijas darba saturu autoram ir septiņas publikācijas starptautiskos recenzētos zinātniskos izdevumos.

- 1) Naglis–Liepa K. (2010) Term Alternative Energy in the Context of Cyclical Use of Energy. **In:** *Economics Science for Rural Development: Proceedings of the International Scientific Conference*, N<sup>o</sup> 22. Jelgava: LLU, pp. 90.-95. (pieejams: AGRIS.FAO; EBSCO HOST Connection)
- 2) Naglis–Liepa K., Leikučš J., Pelše M. (2010) Energy Externalities in Latvia: Case Study of Auce Town. **In:** *Social Research*. N<sup>o</sup>4 (21), Siauliai university, pp. 28.-35.
- 3) Naglis–Liepa K., Pelše M. (2011) Production Cost Estimates for Silage from Energy Crops. **In:** *Economics Science for Rural Development: Proceedings of the International Scientific Conference*, N<sup>o</sup> 24. pp. 85.-91. (pieejams: EBSCO HOST Connection)
- 4) Pelše M., Leikučš J., Naglis–Liepa K., (2011) Abatement factors for renewable energy production in the Baltic States. **In:** *Energy solutions for a sustainable world - Proceedings of the Third International Conference on Applied Energy*. Desideri U. and Yan J. eds. Tree, Milan, Italy, pp. 255.-272.
- 5) Naglis–Liepa K. (2011) The Environmental Kuznets Curve Hypothesis as Theoretical Approach in Renewable Energy Promotion in Latvia. **In:** *Management theory and studies for rural business and infrastructure development*, Vol.3. pp. 140.-147. (pieejams: EBSCO Business Source Complete)
- 6) Pelše M., Naglis–Liepa K. (2012) Global and local challenges in the cultivation of food and energy crops. **In:** *Renewable energy and energy efficiency: Proceedings of the International Scientific Conference*. Jelgava, pp. 242.-248.

### Zinātniskie raksti, kas ir iesniegti publicēšanai

- 1) Naglis–Liepa K. “Assessment of the amount of greenhouse gases in biogas production in Latvia”. Iesniegts: zinātniskajam žurnālam Lietuvā.
- 2) Naglis–Liepa K. “Adaptation of Bioenergy village concept in small towns of Latvia”. Iesniegts: LLU zinātnisko rakstu krājumam.

## **Darba rezultāti publicēti cita veida publikācijās**

- 1) Strīķis V., Kalniņš A., Pelše M., Naglis–Liepa K., Lēnerts A., Klāviņa J. (2010) *Enerģētisko lauksaimniecības augu saimnieciski-ekonomiskais vērtējums*. Māc. līdz. Jelgava: LLU, 51 lpp.
- 2) Naglis–Liepa K. (2010) *Zaļmasas ražošanas pašizmaksa no enerģētiskajiem augiem*, konference Norvēģijas valdības divpusējā finanšu instrumenta un Latvijas valsts līdzfinansētā starpaugstskolu projekta "Augstskolu pētnieciskais potenciāls – reģionālās attīstības veicināšanai" izdevums, 2010. gada maijs. Jelgava. Latvija.
- 3) Pelše M., Naglis–Liepa K. (2012) *Enerģētisko augu audzēšanas izmaksu salīdzinājums un digestāta izmantošanas ekonomiskais efekts*, seminārs-lauku dienas „Kukurūza biogāzei un lopbarības ražošanai” izdevums, 17.08.2012. Auce, Latvija.
- 4) Pelše M., Naglis–Liepa K., Strīķis V., Leikučs J. (2012) *Atjaunojamās enerģijas izmantošanas ekonomiskais izvērtējums ilgtspējīgas attīstības kontekstā*. Jelgava: LLU.85lpp.
- 5) Zinātniskā monogrāfija „Atjaunojamā enerģija un tās efektīva izmantošana Latvijā” (2012) Jelgava, 392lpp. 1. nodaļa „Ievads atjaunojamo enerģijas avotu izmantošanā un pētniecībā”, 16-22.lpp.; 7. nodaļa „Enerģijas ražošanas ekonomiskais izdevīguma no atjaunojamajiem resursiem”, 315.-364.lpp.

## **Dalība starptautiskās zinātniskās konferencēs**

Par pētījuma rezultātiem ziņots sešās starptautiskās zinātniskās konferencēs.

- 1) International Scientific conference “Economic Science for Rural Development” 2010. gada 22.-23.aprīlis, Jelgava, **Latvija** ar ziņojumu „*Term Alternative Energy in the Context of Cyclical Use of Energy*”.
- 2) “Research for Rural Development 2011” 2011. gada 22.-23. aprīlis, Jelgava, **Latvija** ar ziņojumu „*Production Cost Estimates for Silage from Energy Crops*”.
- 3) “Third International Conference on Applied Energy”, 2011. gada 16.-18. maijs, Perudža, **Itālija** ar ziņojumu „*Abatement factors for renewable energy production in the Baltic states*”.
- 4) Apvienotais Pasaules Latviešu Zinātnieku 3. kongress un Letonikas 4. kongress „Zinātne, sabiedrība un nacionālā identitāte”, 2011. gada 24.-27. oktobrī, Jelgavā, **Latvija** ar ziņojumu „*Kukurūzas un ziemas kviešu audzēšanas izmaksu salīdzinājums*”.
- 5) Apvienotais Pasaules Latviešu Zinātnieku 3. kongress un Letonikas 4. kongress „Zinātne, sabiedrība un nacionālā identitāte”, 2011. gada 24.-27. oktobrī, Jelgavā, **Latvija** ar ziņojumu „*Auces pilsētas iedzīvotāji kā atjaunojamo energoresursu patērētāji*”.
- 6) International Scientific Conference „Renewable energy and energy efficiency”, 2012.gada 28.-30.maijs, Jelgava, **Latvija** ar ziņojumu

“*Global and Local Challenges in the Cultivation of Food and Energy Crops*”

- 7) “European Energy 12th Conference IAEE”, 2012. gada 9.-12.septembris, Venēcija, **Itālija** ar ziņojumu „*Renewable electrical energy sources from biomass in Latvia*”.

### **Dalība starptautiskos pētniecības un pieredzes apmaiņas projektos**

Laika periodā no 2009.gada 1.decembra līdz 2012.gada 30.novembrim promocijas darba autors strādājis kā **pētnieks ESF projektā**.

### **Pateicība**

Promocijas darbs tapis pateicoties autora līdzdalībai ESF (Eiropas sociālā fonda) projektā „Cilvēkresursu piesaiste atjaunojamo enerģijas avotu pētījumiem”, vienošanās numurs: 2009/0225/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/129.

## **PUBLICITY AND INFORMATION ABOUT SCIENTIFIC RESEARCH WORK AND ACADEMIC WORK**

Master in Social Sciences in Economics Kaspars Naglis-Liepa has developed the Ph.D. thesis „Alternative Energy (biogas) Production Possibilities in Latvia” in the time period from 2007 to 2012 at the Department of Economics of the Faculty of Economics of LUA under the scientific supervision of Doctor of Economics Modrīte Pelše.

### **Published scientific papers**

The author has seven publications in the international peer-reviewed scientific editions about the results of the research and the content of the thesis.

- 1) Naglis–Liepa K. (2010) Term Alternative Energy in the Context of Cyclical Use of Energy. **In:** *Economics Science for Rural Development: Proceedings of the International Scientific Conference*, N° 22. Jelgava: LLU, pp. 90.-95. (available: AGRIS.FAO; EBSCO HOST Connection)
- 2) Naglis–Liepa K., Leikučš J., Pelše M. (2010) Energy Externalities in Latvia: Case Study of Auce Town. **In:** *Social Research*. N°4 (21), Siauliai university, pp. 28.-35.
- 3) Naglis–Liepa K., Pelše M. (2011) Production Cost Estimates for Silage from Energy Crops. **In:** *Economics Science for Rural Development: Proceedings of the International Scientific Conference*, N° 24. pp. 85.-91. (available: EBSCO HOST Connection)
- 4) Pelše M., Leikučš J., Naglis–Liepa K., (2011) Abatement factors for renewable energy production in the Baltic States. **In:** *Energy solutions for a sustainable world - Proceedings of the Third International Conference on Applied Energy*. Desideri U. and Yan J. eds. Tree, Milan, Italy, pp. 255.-272.



- 5) Naglis–Liepa K. (2011) The Environmental Kuznets Curve Hypothesis as Theoretical Approach in Renewable Energy Promotion in Latvia. **In: Management theory and studies for rural business and infrastructure development**, Vol.3. pp. 140.-147.(available: EBSCO Business Source Complete)
- 6) Pelše M., Naglis–Liepa K. (2012) Global and local challenges in the cultivation of food and energy crops. **In: Renewable energy and energy efficiency: Proceedings of the International Scientific Conference**. Jelgava, pp. 242.-248.

#### **Scientific articles that have been submitted to publication**

- 1) Naglis–Liepa K. “Assessment of the amount of greenhouse gases in biogas production in Latvia”. Submitted to: a scientific journal in Lithuania.
- 2) Naglis–Liepa K. “Adaptation of Bioenergy village concept in small towns of Latvia”. Submitted to: LUA Proceedings.

#### **Results of the research published in different kinds of publications**

- 1) Strīķis V., Kalniņš A., Pelše M., Naglis–Liepa K., Lēnerts A., Klāviņa J. (2010) *Enerģētisko lauksaimniecības augu saimnieciski-ekonomiskais vērtējums*. Māc. līdz. Jelgava: LLU, 51 lpp.
- 2) Naglis–Liepa K. (2010) *Zaļmasas ražošanas pašizmaksa no enerģētiskajiem augiem*, konference Norvēģijas valdības divpusējā finanšu instrumenta un Latvijas valsts līdzfinansētā starpaugstskolu projekta "Augstskolu pētnieciskais potenciāls – reģionālās attīstības veicināšanai" izdevums, 2010. gada maijs. Jelgava. Latvija.
- 3) Pelše M., Naglis–Liepa K. (2012) *Enerģētisko augu audzēšanas izmaksu salīdzinājums un digestāta izmantošanas ekonomiskais efekts*, seminārs-lauku dienas „Kukurūza biogāzei un lopbarības ražošanai” izdevums, 17.08.2012. Auce, Latvija.
- 4) Pelše M., Naglis–Liepa K., Strīķis V., Leikučs J. (2012) *Atjaunojamās enerģijas izmantošanas ekonomiskais izvērtējums ilgtspējīgas attīstības kontekstā*. Jelgava: LLU.85lpp.
- 5) Scientific monograph „Renewable energy and its effective use in Latvia” (2012) Jelgava, 392l p. chapter 1 „Introduction in the use and research of the sources of renewable energy”, pp. 16.-22.; chapter 7 „The economic benefits of the energy production from the renewable resources”, pp. 315.-364.

#### **Participation in the international scientific conferences**

The author has reported the results of the research in six international scientific conferences.

- 1) International Scientific conference “Economic Science for Rural Development” April 22-23, 2010, Jelgava, **Latvia** with a report „Term Alternative Energy in the Context of Cyclical Use of Energy”.

- 2) "Research for Rural Development 2011" 2011. April 22-23, Jelgava, **Latvia** with a report „*Production Cost Estimates for Silage from Energy Crops*”.
- 3) "Third International Conference on Applied Energy", May 16-18, 2011. Perugia, **Italy** with a report „*Abatement factors for renewable energy production in the Baltic states*”.
- 4) Third Joint World Congress of Latvian Scientists and Fourth Congress of Lettonica „Science, society and national identity”, October 24-27, 2011, Jelgava, **Latvia** with a report „*Production comparison of maize and winter wheat*”..
- 5) Third Joint World Congress of Latvian Scientists and Fourth Congress of Lettonica „Science, society and national identity”, October 24-27, 2011, Jelgava, **Latvia**, with a report „*Residents of Auce town as consumers of renewable energy resources*”.
- 6) International Scientific Conference „Renewable energy and energy efficiency”, May 28-30, 2012, Jelgava, **Latvia** with a report “*Global and Local Challenges in the Cultivation of Food and Energy Crops*”
- 7) "European Energy 12th Conference IAEE", 2012. gada 9-12 September, Venice, **Italy**, with a report „*Renewable electrical energy sources from biomass in Latvia*”.

### **Participation in the international research and exchange projects**

During the time period from December 1, 2009 to November 30, 2012 author of the Ph. D. thesis has worked as a **researcher in the ESF project**.

### **Appreciation**

The Ph.D. thesis have been developed due to author's participation in the ESF (European Social Fund) project „Attraction of human resources to the research of the renewable energy sources”, contract No. 2009/0225/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/129.

## **IEVADS**

Darba tēmas sakarā minami tādi mūsdienu pasaules sabiedrības izaicinājumi, kā: iedzīvotāju skaita pieaugums, fosilo resursu izsīkums, augsta valstu tautsaimniecību savstarpējā atkarība, ļoti ātra un vāji kontrolēta kapitāla mobilitāte, kā arī antropogēna negatīvā ietekme uz vidi. Kopumā visi šie faktori ir saistīti ar apdraudējumu ilgtspējīgai attīstībai, kas ir – attīstība, kura nodrošina šodienas vajadzību apmierināšanu, neradot draudus nākamo paaudžu vajadzību apmierināšanai.

Atziņa, ka tirgus ir nepilnīgs un rada ārējos efektus (eksternalitātes), rod atbalstu būtībā visās ekonomikas skolās, neatkarīgi no ekonomikas zinātnes pamatpieņēmumu kopuma. Nobela prēmijas laureāts ekonomikā Džozefš Stiglics (*Stiglitz*) (2006) norāda, ka tirgus rada pārāk maz pozitīvu ārējo efektu,

jo privātie ražotāji par to netiek pilnīgi atalgoti. Kā arī tirgū ir pārāk daudz iespēju radīt negatīvus ārējos efektus, jo ražotājam nav pilnībā jāatbild par kaitējumu pārējiem. Abos gadījumos tirgus nerasniedz vispārēju resursu efektivitāti. Negatīvo ārējo efektu novēršana ir viens no sabiedrības uzdevumiem, jo tirgus sistēma ne vienmēr spēj nodrošināt vispārēju resursu efektīvu izmantošanu. Viena no jomām, kur ārējo efektu novēršana ir īpaši aktuāla, ir sabiedrības spēja sevi apgādāt ar enerģijas resursiem.

ES stratēģija „Eiropa 2020” paredz samazināt siltumnīcas efekta gāzu (SEG) emisiju apjomus par 20% salīdzinājumā ar 1990. gadu, 20% enerģijas iegūt no atjaunojamiem avotiem un par 20% uzlabot energoefektivitāti. Šie ES līmenī noteiktie mērķi ir saskaņoti ar katras dalībvalsts nacionālajiem enerģētikas attīstības mērķiem. Latvijas enerģētikas politika saistāma ar augstu mainību un neefektivitāti. Pašreiz tiek veidota jauna enerģētikas politika.

Mūsdienu enerģētikas risinājumi ir saistīti ar augstu komplikētību, ko nosaka gan ražošanas iespēju daudzveidība, gan tirgu integrētība, gan sabiedrības maksātspējas izmaiņas. Sevišķi spilgti enerģijas ražošanas saistība ar citām jomām redzama biogāzes ražošanā. Biogāzes ražošana ietekmē ne vien enerģijas piedāvājumu un pieprasījumu, bet arī ļoti plašā mērā lauksaimniecību un reģionu attīstību.

Vācijā, vienā no ES līderēm atjaunojamo resursu jomā, apzināti tiek attīstīts *Bioenerģijas ciematukoncepts*, kurā bieži neatņemama sastāvdaļa ir biogāzes koģenerācijas stacijas. Bioenerģijas ciemata koncepcija ir lokālas iniciatīvas radīta atbilde ilgtspējīgas attīstības izaicinājumiem un ārējo efektu novēršanai ne vien vietējā, bet arī nacionālajā un globālajā līmenī, īpaši SEG samazināšanas jomā. Akadēmiķis A. Kalniņš ir norādījis uz nepieciešamību izvērtēt bioenerģijas ciematu izveides iespējas Latvijā. Īpaša loma promocijas darbā ir veltīta biogāzes ražošanas iespēju analīzei un biogāzes koģenerācijas stacijas integrēšanas iespējām bioenerģijas ciemata enerģijas apgādes sistēmā.

Ilgtspējīgas enerģijas apgādes sistēmu pētījumi ir komplikēti un aktuāli, tāpēc ļoti daudzi autori ir pievērsušies enerģijas apgādes problēmu analīzei. Enerģijas radīto ārējo efektu jeb eksternalitāšu problēmas analizējuši: *D. Streimikiene, R. Pušinaite, I. Roos, J. Reķis, T. Sundquist, A. Markandaya, A. Longo*. Enerģijas ražošanas un patēriņa ietekmi uz vidi un labklājību, kā arī iespējamās sistēmas izmaiņas analizējuši: *D. Stern, S. Dinda, W.M. Huang, G.W. Lee, J. Mills, T. Waite, E. Magnani, R. Goel, H. Wei-te, T. Hal, T. Casten, S. Baumgärtner, M. Quaas*. Enerģijas ražošanas no biogāzes agronomiskos, vides un ekonomikas pētījumus veikuši: *A. Kalniņš, M. Pelše, V. Strīķis, D. Blumberga, I. Dzene, S. Capponi, S. Fazio, L. Barbanti, L. Rodhe, E. Salomon, M. Edstrom, A. Adamovičs, V. Dubrovskis, I. Plūme, T.L. Romanelli, M. Milan, M.E. Weber, A.D. Cuellar, J. Bartusevics, Z. Gaile*, kā arī citi autori. Enerģijas ražošanas decentralizācijas svarīgumu akcentējuši: *R.B. Mangoyana, R. Smith, F. Timothy*; bioenerģijas ciematu veidošanas pieredzi Vācijā aprakstījuši: *A. Wüste, P. Schumck, M. Karpenstein-Machen*.

Japānas 10 gadu pieredzi, akcentējot industriālās un pilsētas simbiozes iespējas, aprakstījuši: *R. Van Berkel, T. Fujita, S. Hashimoto, Y. Geng*. Iespaidīgais pētījumu apjoms ir saistīts ne vien ar tēmas plašo aspektu loku, bet arī ar politisku pasūtījumu pēc vides, inženierzinātņu un ekonomikas pētījumiem.

Promocijas darbs daļēji tapis, pateicoties ES projekta „Cilvēkresursu piesaiste atjaunojamo resursu pētījumiem”, kura ietvaros autors veica pētījumus, un daļa no tiem ir izmantota promocijas darbā.

Pētījums balstās uz **hipotēzi**, ka alternatīvās enerģijas (biogāzes) ražošana pozitīvi ietekmē lauksaimniecības produktu ražotāju resursu apriti, kā arī atstāj labvēlīgu ietekmi uz vidi un samazina enerģijas importu.

Pētījuma **objekts** – alternatīvā enerģija (biogāze), bet pētījuma **priekšmets** – no lauksaimniecības produktiem iegūtas biogāzes ražošanas iespējas Latvijā.

No hipotēzes izrietošais **pētījuma mērķis** ir novērtēt no lauksaimniecības produktiem iegūtas alternatīvās enerģijas (biogāzes) ražošanas ekonomiskos un vides efektus bioenerģijas ciemata izveides kontekstā.

Risinātie **darba uzdevumi** pētījuma mērķa sasniegšanai:

- 1) izziņāt alternatīvās enerģijas izmantošanas pamatojumu ekonomikas teorijā;
- 2) izanalizēt atjaunojamo energoresursu plašākas izmantošanas politiku Eiropas Savienībā, tajā skaitā Latvijā;
- 3) izstrādāt biogāzes ražošanas simulācijas modeli un aprēķināt biogāzes izmantošanas ekonomiskos un vides efektus;
- 4) noteikt no lauksaimniecības produktiem iegūtas biogāzes izmantošanas iespējas bioenerģijas ciematu izveidē.

**Pētījuma ierobežojums** – alternatīvās enerģijas ietvars ekonomikas zinātnē tiek analizēts promocijas darba teorētiskajā daļā, bet praktiskais pētījums bāzēts uz atjaunojamo energoresursu biogāzi, kas iegūta no lauksaimniecības produktiem. Darbā tiek analizēta elektroenerģija un siltumenerģija, transporta enerģija netiek analizēta. Enerģētiskā auga kukurūzas ekonomiskie aprēķini veikti pie divām kultūrauga ražībām, lai raksturotu intensīvās un mazāk intensīvās audzēšanas tehnoloģijas un lai varētu tās salīdzināt. Promocijas darbā īpaša uzmanība ir veltīta biogāzes ražošanas ilgtspējīgu attīstību ietekmējošiem faktoriem, citi enerģijas resursi tiek izmantoti iegūto rezultātu salīdzināšanai.

Darba uzdevumu risināšanai izmantotas šādas **pētījumu metodes**:

- vispārzinātniskās: loģiski-konstruktīvā metode, monogrāfiskā, analīzes un sintēzes metode, indukcijas un dedukcijas metode;
- statistisko pētījumu metodes: aprakstošā statistika, regresijas analīze, dinamikas rindu analīze u.c.;
- matemātiskās modelēšanas metodes: optimizācijas uzdevums;
- citas pētījumu metodes: socioloģiskā aptauja, intervija.

Pētījuma veikšanai izmantoti šādi **informācijas avoti**:

- zinātniskās publikācijas un zinātniski praktiskā informācija enerģijas un ekonomikas mijiedarbības teorētiskajiem, sociālajiem, vides un ekonomiskajiem aspektiem;
- ES direktīvas un regulas, kā arī LR likumi un MK noteikumi, citi politikas dokumenti par enerģētiku;
- Eurostat, LR Centrālās statistikas pārvaldes statistikas datubāzēs pieejamā informācija;
- EK, Zemkopības, Ekonomikas un Vides un reģionālās attīstības ministriju un citu institūciju publicētā informācija;
- Auces mājsaimniecību aptauja par atjaunojamo enerģijas resursu izmantošanu un atbalsta apjomu;
- Latvijas uzņēmumu komercinformācija, par enerģijas un to resursu, lauksaimniecības pakalpojumu un mēslojuma cenām;
- citi avoti, kas norādīti literatūras sarakstā.

**Pētījuma novitātes**

- 1) papildināta alternatīvās enerģijas definīcija, akcentējot enerģijas izmantošanas atbilstību reģiona ilgtspējīgai attīstībai;
- 2) iegūts novērtējums zinātnieku, lauksaimniecības speciālistu un praktiķu ieteiktajiem enerģētiskajiem kultūraugiem kā biogāzes ieguves izejvielas substrātam, noteikts ekonomiskais efekts;
- 3) izstrādāts biogāzes substrāta maisījuma optimizācijas modelis un veikta biogāzes ražošanas matemātiskā simulācija, iegūstot ekonomisko un vides efektu novērtējumu;
- 4) noteikta digestāta barības elementu tirgus vērtība, digestāta izmantošanas ietekme uz izmaksu un SEG emisiju samazinājumu;
- 5) noteikts sabiedrības atbalsts alternatīvās enerģijas ražošanas plašākai izmantošanai Aucē;
- 6) izveidots uz Auces pilsētas bāzes bioenerģijas ciemata enerģijas ražošanas modelis, kas vispārināts uz 24 Latvijas mazpilsētām, kurām pieejama dabas gāzes infrastruktūra.

**Zinātniskais nozīmīgums**

Promocijas darbs papildina ekonomiska rakstura zinātniskos pētījumus Latvijā alternatīvo energoresursu jomā, īpaši biogāzes izmantošanā elektroenerģijas un siltumenerģijas ieguvē. Darba ietvaros ir precizēta alternatīvās enerģijas termina lietošana. Izstrādāts biogāzes ražošanas matemātiskās simulācijas modelis un veikti attiecīgi aprēķini, lai novērtētu šī procesa ekonomiskos un vides efektus. Pirmo reizi Latvijā izveidots bioenerģijas ciemata modelis uz reālas mazpilsētas bāzes, kas novērtēts attiecinot to uz 24 Latvijas mazpilsētām ar dabas gāzes infrastruktūru.

**Tautsaimnieciskais nozīmīgums**

Promocijas darbā ietverti pētījumu rezultāti izmantojami: biogāzes stacijām, kuras kā substrātu izmanto lauksaimniecības produktus, veicot

aprēķinus: lai noteiktu optimālu substrāta maisījumu, enerģijas bilanci, nepieciešamos zemes resursus un importa aizvietošanas vērtību; lai noteiktu: vides efektus, SEG emisijas un ieguvumus no fosilo minerālmēslu aizvietošanas ar digestātu. Promocijas darbā izstrādāta aprēķinu sistēma digestāta tirgus vērtības noteikšanai, kā arī nepieciešamā digestāta apjoma aprēķināšanai; enerģētisko kultūraugu novērtēšanai, gan no enerģētiskā potenciāla, gan no ekonomiskā viedokļa. Veiktie bioenerģijas ciemata modeļa aprēķini var tik izmantoti šādu ciematu izveidē Latvijā.

#### **Aizstāvamās tēzes**

- 1) alternatīvās enerģijas izmantošana ir veiksmīgs enerģijas ārējo efektu (eksternalitāšu) samazināšanas instruments;
- 2) Latvija piedalās ES kopīgo atjaunojamās enerģijas mērķu sasniegšanā, tomēr atjaunojamo resursu veicināšanas politika Latvijā šobrīd būtībā ir apturēta;
- 3) biogāze, kas iegūta no lauksaimnieciskās produkcijas, pozitīvi ietekmē enerģijas ražošanas bilanci un apkārtējo vidi;
- 4) bioenerģijas ciematu izveide radīs ieguvumus lauksaimniekiem un sabiedrībai.

## **1. EKONOMIKAS UN ENERĢIJAS RAŽOŠANAS MIJIEDARBĪBA**

*Nodaļas saturs darbā aizņem 25 lpp., kurās ietilpst 3 tabulas un 7 attēli.*

Promocijas darba teorētiskajā nodaļā autors analizē enerģijas ražošanas cikliskumu un dominējošā resursa nomaiņu ar citu alternatīvo resursu, šie jautājumi skatīti no ekonomikas teorijas viedokļa. Alternatīvo enerģijas resursu izvērtēšanā būtiska nozīme ir enerģijas ražošanas ārējiem efektiem jeb eksternalitātēm.

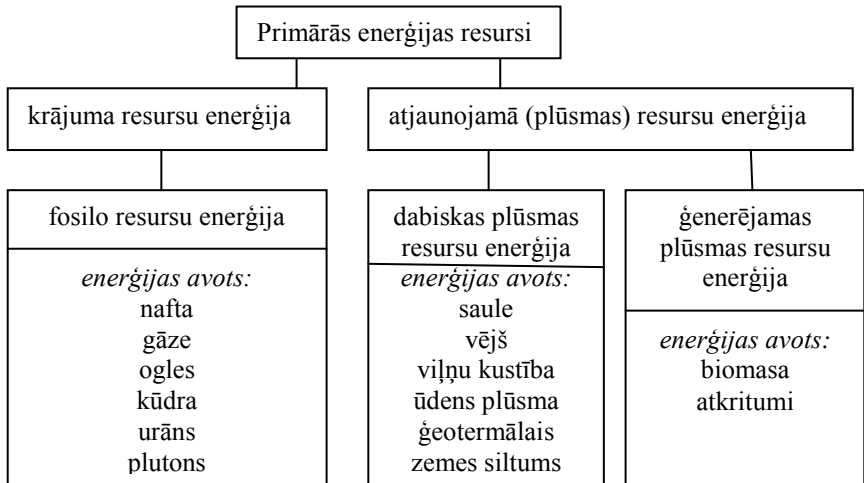
Ārējo efektu iekļaušana tirgus sistēmā ir teorētiskais pamats palūkoties uz enerģijas ražošanu ārpus mēroga ekonomikas ietvariem, ir pamats ilgtspējīgai attīstībai. Nodaļas turpinājumā analizēta bioenerģijas ciemata koncepcija, kas sevī ietver enerģijas negatīvo ārējo efektu novēršanu, vienlaicīgi veicinot apkārtējo teritoriju attīstību.

### **1.1. Enerģijas resursu veidu izmantošanas attīstība un izmaksu īpatsvars**

Alternatīvā enerģija nav sinonīms jēdziens atjaunojamiem resursiem, bet ir to iekļaujošs jēdziens. Ja atjaunojamie resursi norāda uz to spēju dabīgi atjaunoties vai uz to neizsmeļamību, tad alternatīvās enerģijas jēdziens balstās uz vietējās sabiedrības atzinātu ilgtspējīgu izvēli. Promocijas darba autors piedāvā šādu definīciju: **alternatīvā enerģija – enerģija, kas nav konvencionāla izmantošanā un ietver sabiedrības ekonomisko, sociālo,**

## vides ieguvumu un zaudējumu izvērtējumu, konkrētā tehnoloģiskās attīstības brīdī un reģionā.

Vislielākā vienprātība ir par primāro enerģijas resursu iedalīšanu atkarībā no to uzkrāšanās veida. Fosilās enerģijas resursi ir miljonos gadu uzkrājušos fosiliju paliekas, tāpēc objektīvi tās nevar būt neierobežotas. Fosilās enerģijas ierobežotība bieži ir nozīmīgākais faktors, kas liek pārskatīt iespējamās alternatīvas par labu resursiem, kuru izsmelšana nav iespējama, jeb tie ir tā sauktie atjaunojamie resursi (plūsmas enerģijas resursi), shematiski primāro resursu iedalījums attēlots 1. attēlā.



Avots: autora veidots

### 1. att. Enerģijas resursu veidu sadalījums krājuma un plūsmas enerģijā.

Ar atjaunojamo enerģiju visbiežāk saprot plūsmas enerģijas veidus: enerģija, kas nav atkarīga no resursu krājumiem uz zemes — vēja enerģija, saules enerģija, viļņu enerģija, ūdens enerģija, ģeotermālā enerģija, kā arī enerģija, kas iegūta no biomasas un atkritumiem. Pēdējie divi veidi raksturojas ar augstāku noteiktības līmeni, bet ierobežotu izmantošanas apjomu konkrētā laika punktā.

Biomasas enerģija ir ar salīdzinoši augstām fiksētām izmaksām un tāpat salīdzinoši augstām mainīgām izmaksām, ar ko raksturojama šī enerģijas resursa veida ieguve – primārā ražošana, lauksaimniecība un mežsaimniecība. Viszemākās investīcijas izmaksas ir dabasgāzes izmantošanā elektroenerģijas ieguvei, bet visaugstākās tās ir vēja un hidroresursu izmantošanā.

## 1.2. Ārējie efekti (eksternalitātes) enerģijas ražošanā

Resursu sadales jomā tirgus sistēma ir nepilnīga un viena no sistēmas nepilnībām ir cenā neiekļautie, bet produkcijas ražošanas procesā radītie ārējie efekti. Ekonomikas teorija izšķir gan pozitīvus, gan negatīvus ārējos efektus, kurus nepieciešams iekļaut tirgus sistēmā, lai tiktu sasniegta Pareto efektivitāte. Ārējo efektu konceptam ir gara vēsture, ko aizsāka Alfrēda Maršala (*Alfred Marshall*, 1890) idejas par iekšējo un ārējo ekonomiku uzņēmumu preču ražošanā, kas transformējās privātajā labklājībā, kuru Pigū (*Pigou*) iekļāva labklājības ekonomikā un tas tālāk attīstījās un formatizējās dažādos virzienos. Pašlaik sastopamas dažādas ārējo efektu koncepcijas. Kopumā ārējo efektu teorijas balstās uz normatīvu skatījumu (Baumgärtner, Quaas, 2010). No ekonomikas teorijas viedokļa ārējie efekti norāda uz tirgus nepilnībām.

Tirgus sistēmas uzlabošana, iekļaujot tajā ārējos efektus, kompensējošus izdevumus, ir sarežģīta, jo saistīta ar ierobežoti definētajām īpašuma tiesībām un šo tiesību praktisku realizāciju. Visbiežāk runā par sabiedrisko īpašumu un tā izmantošanas radītajiem sabiedriskajiem ieguvumiem vai zaudējumiem. Saistībā ar enerģijas ražošanu, visbiežāk runā par negatīvajiem ārējiem efektiem, kuri saistīti ar SEG emisiju ražošanu, kas ietekmē globālo klimatu, radot zaudējumus sabiedrībai. Ārējo efektu izmaksu apjomus var aprēķināt un tas ir darīts vairākos pētījumos, kuros konstatēts, ka atjaunojamie resursi rada mazākus negatīvos ārējos efektus.

## 1.3. Ekonomiskā attīstība un reģionālie ārējie efekti

Mēroga ekonomikas un klasteru ārējie efekti rodas saistībā ar uzņēmuma atrašanos kādā konkrētā vietā. Maršala (*Marshall*) un Vēbera (*Veber*) idejas tika atdzīvinātas fundamentālajā Krugmana (*Krugman*) un Fudžita (*Fujita*) darbā „Jaunā ekonomikas ģeogrāfija” (*New Economic Geography*). Galvenā doma šajā darbā ir par atrašanās vietas klasteru nozīmi ražojumu izmaksu samazinājumā par vienu vienību. Jautājums par videi nodarīto kaitējumu iekļaušanu tirgus sistēmā jeb ekonomikas attīstības rezultātā radītā spiediena uz vidi mazināšanu ir nodarbinājis ekonomikas pētniekus jau ilgu laiku. Kopš pagājušā gadsimta vidus ekonomistus iedvesmoja Kuzneta hipotēze, ka, pieaugot iedzīvotāju ienākumu līmenim, ienākumu nevienlīdzība palielinās, bet, sasniedzot noteiktu punktu, nevienlīdzība samazinās, kas grafiski attēlota kā apgāzta U veida līkne. Ja Vides Kuzneta līknes hipotēze apstiprinātos, tad kapitālisma ekonomika pati samazinātu negatīvo iespaidu uz vidi. Tomēr praktiski ekonomikas ļoti kūtri savās sistēmās inkorporē vides negatīvos ārējos efektus, tāpēc būtībā nav priekšnoteikumu, lai šī hipotēze apstiprinātos. Ekonomiskā augstme nav cēlonis, bet gan priekšnoteikums vides negatīvā iespaida mazināšanai (Mills, Waite, 2009). Elizabeta Magnani (*Magnani*) (2001) konstatē: teorētiski var pieņemt, ka līdztekus ienākumiem, pieaugot pieprasījuma elastībai pēc vides kvalitātes, veidosies pozitīva sakarība starp



ekonomikas augsmi un vides kvalitāti. Tomēr empīriskie pētījumi neļauj viennozīmīgi apgalvot, ka izaugsme automātiski saistīta ar IKP un vides kvalitātes uzlabošanu, norādot uz politikas veidotāju būtisko lomu, kas ietekmē patērētāju uzvedību un pieprasījumu pēc vides uzlabošanas.

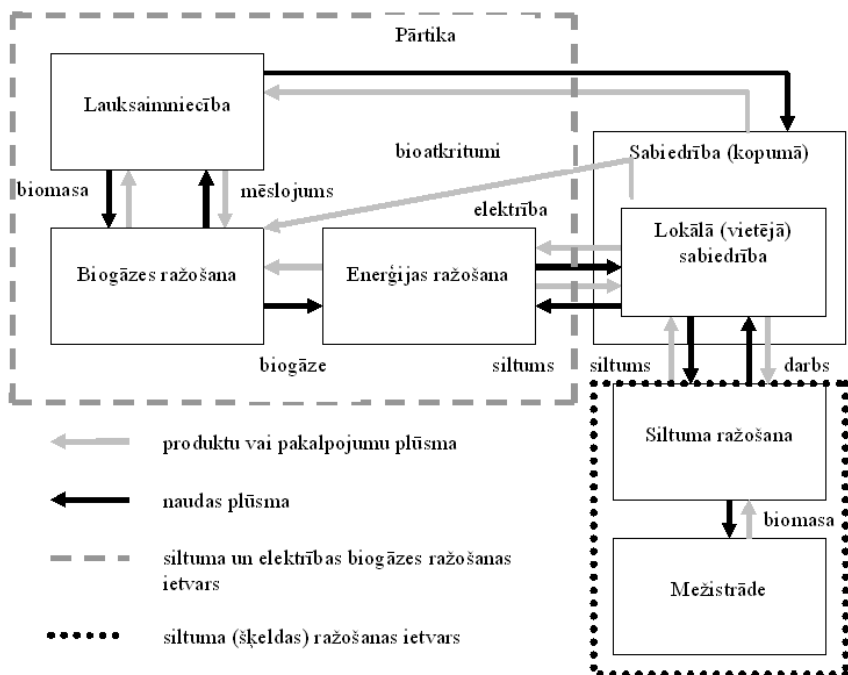
#### **1.4. Bioenerģijas ciematu izveides koncepcija negatīvo ārējo efektu samazināšanā enerģijas apgādē un sabiedrības līdzdalība tajā**

Cits negatīvo ārējo efektu novēršanas veids ir saistāms ar lokālo sabiedrību iniciatīvu izmantot integrētus risinājumus, tajos ietverot ilgtspējas kritērijus un uzlabojot dzīves kvalitāti. Praktiski piemēri ir saistāmi ar tā saukto bioenerģijas ciematu attīstību. Integrējot lauksaimniecisko ražošanu, mežsītrādi un enerģijas ražošanu vienotā sistēmā, iespējams iegūt katrai nozarei un sabiedrībai izdevīgu ilgtspējīgu attīstību. Nodrošinot savas enerģētiskās vajadzības ar vietējiem resursiem, tiek panākta resursu pilnvērtīgāka izmantošana, ietaupītas ar transportu saistītās SEG emisijas, stabilizēta vietējo uzņēmumu darbība, kā arī iegūtas citas priekšrocības. Būtiska loma bioenerģijas ciematu attīstībā ir biogāzes ražošanai. Tomēr kopumā katram reģionam ir iespējams izstrādāt savu enerģijas veidu kombināciju, kas uzskatāma par reģiona alternatīvo enerģiju.

21. gadsimta ilgtspējīgas pilsētas attīstība nav iedomājama bez SEG emisiju un enerģijas resursu analīzes (Kennedy et al., 2011). Samērā proaktīva ir ideja par bioenerģijas ciematu veidošanu, kas būtībā ir pilsētas metabolisma idejas attīstības rezultāts, tomēr nav tik radikāla kā ideja par ekociematu, kas, autoraprāt, robežojas ar reliģisku kopienu, jo paredz arī vienotu garīgi kulturālo telpu.

*Bioenerģijas ciemati ir apdzīvotas teritorijas, kurās enerģētiskās vajadzības nodrošina ar vietējiem biomasas alternatīvās enerģijas resursiem, uzlabojot vietējās kopienas ekonomisko, vides un lauksaimniecības ilgtspēju.*

Akadēmiķis A.Kalniņš, atjaunojamās enerģētikas eksperts, atzīst, ka arī Latvijā ir saimnieciski pamatoti veicināt bioenerģijas ciematu veidošanu, jo atjaunojamie energoresursi ir daudzveidīgi un netiek pietiekami izmantoti (Kalniņš, 2012). Biociemati izmanto ne vien savos ciematos pieejamos resursus, bet arī tuvāko zemnieku saimniecību un citu lauksaimniecības uzņēmumu saražoto produkciju un ražošanas atlikumus. Varētu teikt, ka biociemata mērķis ir nodrošināt veiksmīgu lauksaimniecības, enerģijas ražošanas un vietējās sabiedrības simbiozi.



Avots: autora veidots, izmantojot Tsvetkova, Gustaffson, 2012

## 2. att. Bioenerģijas ciemata enerģijas apgādes koncepcija.

Kalniņš un kolēģi, pamatojoties uz sistēmdinamikas modelēšanas rezultātiem, apgalvo, ka panākt lauksaimniecībā nodarbināto ienākumu pieaugumu līdz ES vidējam, izmantojot tikai primāro ražošanu, nav iespējams (Kalniņš u.c., 2009). Tāpēc bioenerģijas ciemata izveide var būt veids, kā paaugstināt pievienotās vērtības veidošanos lauksaimniecībā, ietekmējot arī lauku iedzīvotāju ienākumus.

### 1.5. Zemes lietojuma dilemma alternatīvās enerģijas ražošanai

Enerģijas ražošana no lauksaimniecības produktiem nav tradicionāla nodarbe lauksaimniecības nozarē, tāpēc pastāv bažas par zemes resursu lietojuma maiņas radītajiem efektiem. Lauksaimniecības zemes primārā funkcija ir pārīkas ražošana. Promocijas darba autors šajā nodaļā, izmantojot regresijas metodi, veic aprēķinus, lai novērtētu lauksaimniecības zemes izmantošanas efektivitāti saistībā ar enerģētisko augu un pārīkas produktu izejvielu audzēšanu un secina, ka efektivitāte ir atkarīga no produkcijas veida, un enerģijas ražošana ir iespējams veiksmīgi savienot ar pārīkas ražošana. Sabiedrības ieguvumi no enerģijas un graudu ražošanas ir lielāki nekā no enerģijas ražošanas un lopkopības, tāpēc enerģijas ražošana no

lauksaimnieciskās izcelsmes produktiem nevar būt par pamatu nepietiekamam pārtikas nodrošinājumam.

## **2. ES POLITIKA ATJAUNOJAMO ENERĢIJAS RESURSU IZMANTOŠANĀ**

*Nodaļas saturs darbā aizņem 19 lpp., kurās ietilpst 5 tabulas un 7 attēli.*

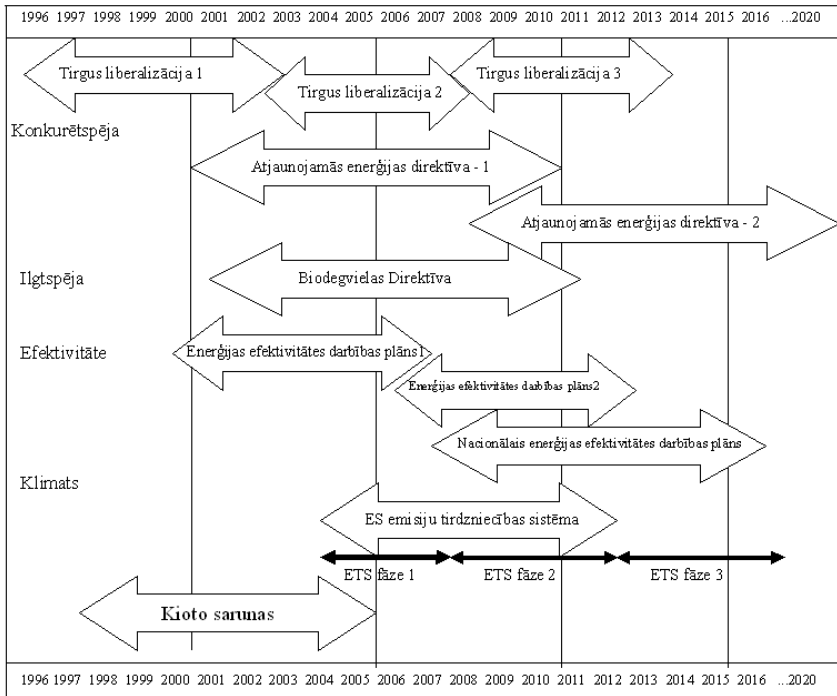
Promocijas darba 2. nodaļa veltīta ES enerģētikas politikas analīzei, kas nosaka enerģijas negatīvo ārējo efektu novēršanas vai kompensēšanas praktiskos risinājumus ekonomikā. Nodaļā iezīmēti ES enerģētikas politikas stratēģiskie mērķi un pamatvirzieni, kas lielā mērā vērsti uz integrētu un proaktīvāku dalībvalstu virzību uz ilgtspējīgu enerģētikas sektoru, izvirzot ES par pasaules līderi šajā jomā ar kopīgu un integrētu enerģētikas tirgu. Tomēr enerģētikas politika joprojām ir katras dalībvalsts ziņā, tāpēc kopīgo mērķu sasniegšanai dalībvalstis izvēlas atšķirīgus mērķu sasniegšanas veidus. Nodaļā analizēts atjaunojamo energoresursu izmantošanas normatīvais regulējums un atbalsta programmas šajā jomā. Lai iezīmētu enerģētikas politikas rezultātīvos rādītājus, nodaļā ietverti arī statistiskie rādītāji, kas apliecina atjaunojamo enerģijas resursu izmantošanas progresu ES, tajā skaitā Latvijā.

### **2.1. Politiskais ietvars atjaunojamo energoresursu plašākai izmantošanai**

#### **2.1.1. Stratēģiskie mērķi un pamatvirzieni**

Kopumā Eiropas Savienības enerģētikas politika ir virzīta uz ilgtermiņa enerģētikas mērķiem, kuri pirmo reizi tika noteikti 1995. gadā Baltajā grāmatā par Eiropas Savienības enerģētikas politiku (An Energy Policy..., 1995). Tai sekoja Zaļā grāmata par Eiropas Savienības stratēģiju drošai apgādei ar enerģiju (Towards a European strategy..., 2000) un arī ziņojums (Final report on the..., 2002), kas paredzēja sasniegt 12% atjaunojamās enerģijas īpatsvaru ES enerģijas bilancē.

Eiropas Savienības enerģētikas politiku var raksturot no četriem skatu punktiem: konkurence, ilgtspēja, efektivitāte un klimata pārmaiņas. Katra šī elementa svarīgākie ES politikas dokumenti enerģētikā iekļauti 3. attēlā, kā arī norādīts šo dokumentu darbības laiks. ES enerģētikas politikas tirgus liberalizācijai atvēlēti 3 posmi 1996.-2003., 2003.-2008. un 2008.-2014. gads. Izveidotas divas Atjaunojamās enerģijas direktīvas. Šie dokumenti galvenokārt attiecas uz konkurētspējas veicināšanu. Liels uzsvars ES enerģētikas politikā likts uz ilgtspēju un efektivitāti.



Avots: *Panorama of Energy, 2009*

### 3. att. Eiropas Savienības enerģētikas politikas attīstība.

Reāls ilgtspējīgās attīstības, vienlaikus arī atjaunojamo energoresursu izmantošanas pieauguma veicinošs, virzītājdokuments starptautiskajā telpā ir 1997. gadā pieņemtais Kioto protokols (UNFCCC), kas paredz līdz 2012. gadam visām rūpnieciskajām valstīm panākt siltumnīcefekta izraisošo gāzu emisijas līmeņa samazināšanu par 5% salīdzinājumā ar 1990. gadu (The Kyoto protocol..., b.g.).

Eiropas Komisija 2008. gada 23. janvārī nāca klajā ar vērienīgu priekšlikumu paketi Klimata pārmaiņu mazināšanai: Enerģija mainīgai pasaulei (*Climate Action: Energy for a Changing World*), kuras mērķis ir cīņa pret klimata pārmaiņām un atjaunojamās enerģijas izmantošanas veicināšana saskaņā ar ES saistībām. Priekšlikumi paredz par 20% samazināt siltumnīcas gāzu emisijas, par 20% palielināt energoefektivitāti un palielināt atjaunojamās enerģijas izmantošanu līdz 20% no kopējā enerģijas patēriņa.

ES dalībvalstu, tajā skaitā Latvijas, sasniedzamie mērķi atjaunojamās enerģijas īpatsvaram kopējā enerģijas patēriņā fiksēti Direktīvā 2009/28/EK un ir svarīga ES enerģētikas politikas sastāvdaļa. Lielākais atjaunojamās enerģijas īpatsvars kopējā enerģijas bilancē paredzēts Zviedrijā, teju puse no visas

enerģijas, Latvijā 40% un Somijā 38%. Būtībā šis uzstādījums ir atbilstoši proporcionāls jau esošajam atjaunojamo resursu izmantošanas potenciālam.

Neskatoties uz to, ka ES atjaunojamās enerģijas veicināšanas politika balstās uz vienotiem principiem un kopīgiem mērķiem, tomēr katra valsts izvēlas savus politikas veicināšanas pasākumus un atbilstošus instrumentus, ņemot vērā atjaunojamās enerģijas resursu daudzveidību, valstu vēsturisko attīstību un citus faktorus. ES atbalsta politikas suverenitāte ir skaidra un pieņemama. Taču ES mērķi par vienotu enerģētikas politiku un tirgu rada jautājumu par vienotu ES līmeņa atbalsta politiku.

### **2.1.2. Tirgus liberalizācijas politika**

Atjaunojamo enerģijas resursu izmantošanas pieaugums lielā mērā nodrošinātu tirgus nepilnību novēršanu un būtu ceļš uz ilgtspējīgu ekonomiku. Nozīmīgi šajā sakarā ir veidot vienotu enerģētikas resursu tirgu ES. Par šī jautājuma svarīgumu liecina arī enerģētikas tirgus liberalizācija (skat. 3. att.), kur kā noslēguma posms paredzēts 2014. gads.

Daļa no dalībvalstīm enerģijas tirgus liberalizāciju īsteno nodalot pārvades un sadales operatora pakalpojumus, kopumā nodrošinot efektīvus uz tirgu balstītus enerģijas sadales principus. Šādu nodalīšanas variantu izvēlējusies arī Latvija, juridiski nodalot pārvades sistēmas operatoru AS „Augstsprieguma tīkls” un sadales sistēmas operatoru AS „Sadales tīkls”, kontroli nodrošina neatkarīga institūcija – Latvijā Sabiedrisko pakalpojumu regulēšanas komisija.

Gāzes tirgus liberalizēšana Latvijā ir atlikta, pamatojoties uz Latvijas Republikas un AS „Latvijas Gāze” ekskluzīvu licenci, kura dod tai tiesības un pienākumus veikt dabas gāzes realizāciju visā Latvijas Republikas teritorijā līdz 2017. gada 10. februārim.

ES institūcijas uzsver, ka jāturpina attīstīt pārrobežu starpsavienojumi, lai nodrošinātu piegādi no visiem enerģijas avotiem par konkurētspējīgāko cenu patērētājiem un rūpniecības nozarei Eiropas Kopienā.

Enerģētikas tirgus liberalizācijas kontekstā jāatzīmē atsevišķu ES valstu lielā atkarība no Krievijas enerģijas piegādēm, īpaši tas attiecas uz Baltijas valstīm.

### **2.1.3. Normatīvais regulējums un atbalsta programmas Latvijā**

Atjaunojamo enerģijas resursu tirgu Latvijā regulē Enerģētikas likums un Elektroenerģijas tirgus likums, kas arī nosaka obligāti sasniedzamo atjaunojamo enerģijas resursu saražotās enerģijas īpatsvaru enerģijas bruto patēriņā līdz 40% 2020. gadā saskaņā ar Direktīvu 2009/28. Tomēr būtībā atjaunojamo energoresursu politiku regulē 2010. gada 16. martā pieņemtie MK noteikumi Nr. 262 „Noteikumi par elektroenerģijas ražošanu, izmantojot atjaunojamus energoresursus, un cenu noteikšanas kārtību”. Tie nosaka kārtību, kādā uzņēmējs var kvalificēties, lai pārdotu elektroenerģiju obligātā iepirkuma

ietvaros, kā arī nosaka formulu, pēc kādas aprēķināms iepirkuma tarifs elektroenerģijai, kas saražota no atjaunojamiem resursiem. Vienlaikus elektroenerģijas ražotājs, kas izmanto atjaunojamus energoresursus koģenerācijas procesā, var kvalificēties realizēt elektroenerģiju obligātā iepirkuma ietvaros, saskaņā ar 2009. gada 10. marta MK noteikumiem Nr. 221 „Noteikumi par elektroenerģijas ražošanu un cenu noteikšanu, ražojot elektroenerģiju koģenerācijā”. Būtbūvē atjaunojamās elektroenerģijas ražotājam iespējams kvalificēties obligātajam iepirkumam pēc viena no šiem Ministru kabineta noteikumiem.

Būtiskākā atšķirība ir tā, ka MK noteikumi Nr. 221 regulē efektīvi izmantojamā siltuma apjomu, turpretim MK noteikumos Nr. 262 siltuma izmantošana nav obligāta. Īpaši svarīgi tas ir biogāzes koģenerācijas stacijām, kā apliecina to skaita straujš pieaugumu Latvijā, īpaši no lauksaimniecības resursiem iegūstamās biogāzes stacijas.

Vēl kāda būtiska atšķirība ir tā, ka MK noteikumi Nr. 262 uzliek pienākumu saražot obligāti iepērkamo enerģijas apjomu, bet noteikumi Nr. 221 šādu prasību neuzliek. Rezultātā vairāki uzņēmēji bija spiesti mainīt konkursā iesniegtos projektos minētās iekārtu jaudas.

Atjaunojamās enerģijas likumprojektā, kurš jau ilgu laiku politiskajā līmenī tiek apspriests, bet joprojām nav pieņemts, vairs netiek paredzēts saražotās enerģijas apjoma ierobežojums. Plānots, ka atjaunojamās enerģijas cenu noteiks tirgus cena un piemaksas. Tomēr promocijas darba autors apšaubā enerģijas ražotāju spēju darboties brīvā elektroenerģijas tirgū, piemēram, *NordPool*, tas tomēr prasa zināmas papildu izmaksas, kas saistītas ar tirdzniecības analīzi un realizāciju.

Pašreiz spēkā esošie MK noteikumi Nr. 262 un tajos noteiktie elektroenerģijas obligātā iepirkuma tarifi, ekspertu vērtējumā, ir salīdzinoši augsti, viņi atzīmē, ka nepieciešamas izmaiņas atbalsta sistēmā. Tomēr jaunais Atjaunojamo energoresursu enerģijas likumprojekts neapmierina atjaunojamās enerģijas ražotājus un arī publisko tirgotāju – AS „Latvenergo”.

Likumprojekts sniedz tikai indikatīvus mērķus attiecībā uz siltuma ražošanu un transporta enerģiju no atjaunojamiem energoresursiem. Pozitīvi jāvērtē noteiktais pienākums lietderīgi izmantot vismaz 50% no saražotā, pašpatēriņā neizmantojama siltuma, kas gan varētu būt grūti kontrolējams pasākums.

Līdztekus šiem atbalsta veidiem ES enerģētikas politikas izpildei Latvijā tiek atvēlēti nozīmīgi līdzekļi investīciju programmām, kuras administrē Ekonomikas, Vides un reģionālās attīstības, kā arī Zemkopības ministrijas. Svarīgs investīciju nosacījums ir ministriju veidotais kritēriju saraksts atjaunojamās enerģijas ražotājiem, atbilstoši savai pārraudzības jomai. Lai gan katra ministrija cenšas akcentēt kritērijus, kas atbilst tās specifiskajām jomām un redzējumam par tām, būtbūvē prasības ir diezgan formālas. Samērā viegli izstrādāt kritērijus vēja vai saules izmantošanai, pretēji ir ar biomasas

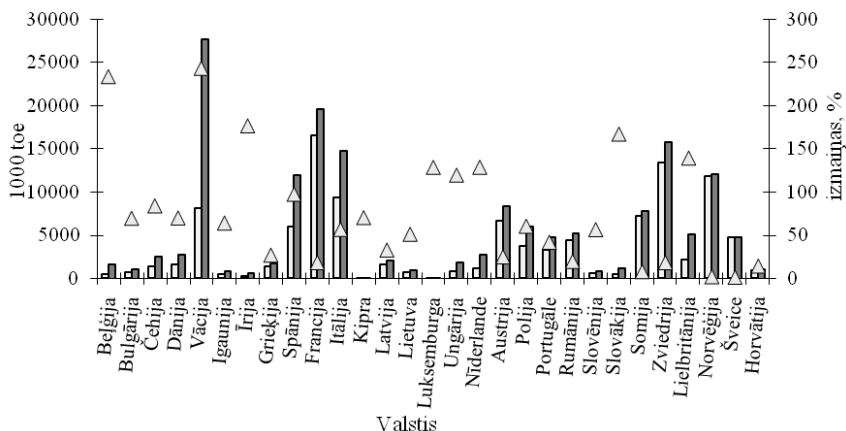
izmantošanu biogāzes ražošanai. Tas saistīts ar ražošanas specifiskajām prasībām.

Atjaunojamo energoresursu izmantošanas komplikētība nav pārvērtusies atbalsta politikas ierobežojumos, kas, no vienas puses, ir pozitīvi, jo veicināja strauju attīstību, no otras puses, šī straujā attīstība radīja jaunus iespējas un draudus, kas ietekmē valsts politiku. Bez šaubām investīciju projekti ir nepieciešami jaunu un videi draudzīgu tehnoloģiju ieviešanas fāzē, tomēr jau vairākus gadus tiek meklēti risinājumi labākas atbalsta sistēmas izveidei un administrēšanai. Būvēta jau no 2011. gada 26. maija Ekonomikas ministrija vairs neorganizē konkursus par tiesībām obligātā iepirkuma ietvaros pārdot saražoto elektroenerģiju no biomasas, biogāzes, saules vai vēja, kā arī tiesībām saņemt garantētu maksu par uzstādīto elektrisko jaudu, bet tiek meklēti jauni risinājumi.

## **2.2. Atjaunojamo energoresursu izmantošanu raksturojošie rādītāji**

Virzībā uz atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšanos kopējā enerģijas bilancē, jāatzīmē, ka atjaunojamo energoresursu patēriņš ES valstīs ir pieaudzis, tendence norāda uz izvirzīto stratēģisko mērķu pildīšanu. Nozīmīgākais atjaunojamo energoresursu avots ir biomasas, tā nodrošinājusi apmēram 70% no atjaunojamo energoresursu kopapjoma un tai ir visstraujākā pieauguma tendence. Ūdens enerģija ir otrs nozīmīgākais atjaunojamais energoresursu avots, tās īpatsvars gan pēdējo gadu laikā samazinās. Vējš un ģeotermālā enerģija joprojām dod mazu ieguldījumu, lai gan, raugoties absolūtā izteiksmē, tās apjomi strauji pieaug (Ilgtspējīga attīstība Eiropas..., b.g.).

Vērtējot absolūtos skaitļos, atjaunojamās enerģijas apjomi kopš deviņdesmito gadu sākuma pieauguši vairāk nekā 2 reizes, tā 1990. gadā ES 15 valstu grupā atjaunojamās enerģijas patēriņš bija 65 085 000 toe (naftas ekvivalenta vienības) un 72 487 000 toe ES 27 valstu grupā, bet 2008. gadā šie rādītāji bija jau 130 252 000 toe ES 15 un 151 047 000 toe ES 27 valstu grupā. Lai labāk varētu vērtēt valstu progresu Kioto protokolā fiksēto atjaunojamās enerģijas mērķu sasniegšanā, nepieciešams novērtēt saražotās atjaunojamās enerģijas potenciāla izmaiņas. 4. attēlā iekļauta informācija par izmaiņām 10 gadu ciklā – 1999. gads un 2009. gads.



□ saražotais apjoms 1999. gadā    ■ saražotais apjoms 2009. gadā    △ izmaiņas, %

Avots: autora veidots pēc Eurostat, b.g.

#### 4. att. Saražotās atjaunojamās enerģijas apjoma izmaiņas 1999.-2009. gadā Eiropas Kopienas valstīs.

Vislielākais pieaugums saražotās atjaunojamās enerģijas apjomā šajā laika periodā bija Vācijā par 243% un Beļģijā par 233%, bet vismazākais pieaugums Šveicē un Norvēģijā, kuras nav ES dalībvalstis, taču kurām ir ciešas ekonomiskās saites ar ES. ES politikas mērķu sasniegšanas progress dažādās valstīs ir visai atšķirīgs.

Saražotās elektroenerģijas apjomi Latvijā no atjaunojamajiem resursiem, vērtējot pēdējos desmit gadus, ir bijuši mainīgi – ap 3000 GWh, rezultāti apkopoti 1. tabulā. Lielā mērā šo apjomu ir ietekmējušas un vēl daudzus gadus ietekmēs lielās hidroelektrostacijas, vienlaikus citu veidu staciju piensums ir bijis visai niecīgs. Var teikt, ka mazo hidroelektrostaciju potenciāls ir izsmelts, jo pēdējos gados saražotās elektroenerģijas apjoms no tām ievērojami nav pieaudzis. Izaugsmes potenciāls vērojams tieši biogāzes un biomasas izmantošanā elektroenerģijas ieguvē.

Biogāzes elektrostaciju skaits no 2003. gada pamazām ir paaugstinājies, saražotā elektroenerģijas jauda īpaši pieauga 2011. gadā – par 50 GWh salīdzinājumā ar iepriekšējo gadu, kas ir turpat uz pusi. Šeit jāņem vērā, ka, ieviešot kādu atbalsta politiku, tās rezultāti statistiskajos rādītājos vērojami tikai pēc 3 līdz 5 gadiem. Tas ir laiks, kas nepieciešams pieredzes apgūšanai, iekārtu uzstādīšanai, resursu apzināšanai un ieguvei, kā arī administratīvās procedūras veikšanai.



**Saražotā elektroenerģija no atjaunojamiem resursiem Latvijā  
2003.-2011. gadā, GWh**

<b>Ražošanas veids</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
Hidroelektrostacijas	2266	3109	3325	2698	2733	3109	3457	3520	2887
...<1 MW	49	64	57	36	63	64	60	69	57
... 1MW<= el.jauda<=10 MW	5	6	5	4	6	6	6	6	4
...>10 MW	2212	3040	3263	2659	2665	3038	3391	3445	2826
Vēja elektrostacijas	48	49	47	46	53	59	50	49	71
Biomāsas elektrostacijas	6	6	6	7	5	5	4	9	13
Biogāzes elektrostacijas	18	32	36	36	37	40	44	57	107
<b>Kopā</b>	<b>2339</b>	<b>3196</b>	<b>3414</b>	<b>2787</b>	<b>2828</b>	<b>3213</b>	<b>3555</b>	<b>3635</b>	<b>3078</b>

*Avots: Latvijas statistika, b.g.*

Latvijas līdzšinējā politika iespēju robežās centusies nodrošināt enerģijas resursu cenu stabilitāti. Latvijā ir otrie zemākie enerģijas nodokļi ES.

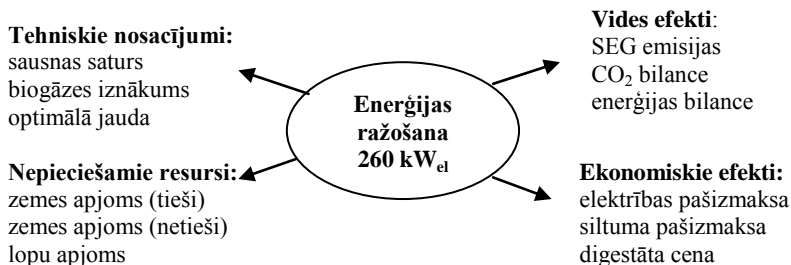
Līdz ar atjaunojamo energoresursu plašāku izmantošanu un šo resursu izmantošanas finansiālās atbalsta sistēmas izveidi, nozīmīgi ir noskaidrot, vai, ieviešot alternatīvus enerģijas veidus, tie spēj konkurēt ar esošajiem un, vai sabiedrība spēj maksāt par šo resursu izmantošanu.

Atjaunojamā enerģija, neatkarīgi no atjaunojamās enerģijas veicināšanas atbalsta politikas, neizbēgami ietekmēs mājāsaimniecības kā gala patērētājus. Latvijas politikas veidotājiem jāspēj sabalansēt divus mērķus ar pretējiem efektiem. No vienas puses, tirgus sistēmā jāiekļauj fosilo resursu izmantošanā radītie ārējie efekti, vienlaikus veicinot atjaunojamo resursu izmantošanu un daļēji, īsā laika skatījumā, subsidējot to izmantošanu enerģijas ražošanā, rezultātā palielinot cenu un samazinot pieprasījumu. No otras puses, jāuzņemas rūpes par mājāsaimniecībām, lai enerģijas ārējo efektu izmaksas neradītu pārlietu lielu slogu mājāsaimniecību budžetos, kas varētu radīt negatīvus ārējos efektus citos sektoros, piemēram, veselības aprūpē. Ekonomiskā krīze Latvijā būtiski ietekmēja atjaunojamās enerģijas atbalsta politiku, jo, pieņemot, ja ekonomika būtu turpinājusi attīstīties, mainīt atjaunojamo resursu atbalsta politiku nebūtu bijis sabiedriski tik svarīgi.

### 3. BIOGĀZES RAŽOŠANAS NOVĒRTĒŠANA

*Nodaļas saturs darbā aizņem 48 lpp., kurās ietilpst 15 tabulas un 16 attēli.*

Promocijas darba 3. nodaļu autors velta enerģijas ražošanai no biogāzes, kas iegūta no lauksaimniecības produktiem. Izstrādāts biogāzes ražošanas simulācijas modelis un veikti tam atbilstoši matemātiskie aprēķini biogāzes izmantošanas ekonomisko un vides efektu novērtēšanai. Analizētā modeļa pamatuzdevums ir ražot biogāzi, no kuras koģenerācijas procesā iegūtā elektroenerģija ir realizējama produkts. Nodaļā ietvertās skaitliskās vērtības ir aprēķinātas atbilstoši Latvijas tehniskajiem, ekonomiskajiem un tiesiskajiem nosacījumiem. Tomēr aprēķini var ietvert arī atkāpes, kas ļauj novērtēt biogāzes ražošanu pie dažādiem ražošanas nosacījumiem. Iegūtās vērtības sākotnēji aprēķinātas, pieņemot, ka pilnībā tiek izmantoti minerālmēsli, bet papildu digestāta izmantošanas efekts analizēts nodaļas pēdējā apakšnodaļā. Nodaļa ietver modeļa aprēķinus, tā principiālā shēma parādīta 5. attēlā.



*Avots: autora veidots, izmantojot Nakata, 2004*

5. att. **Biogāzes ražošanas novērtēšanas modeļa principiālā shēma.**

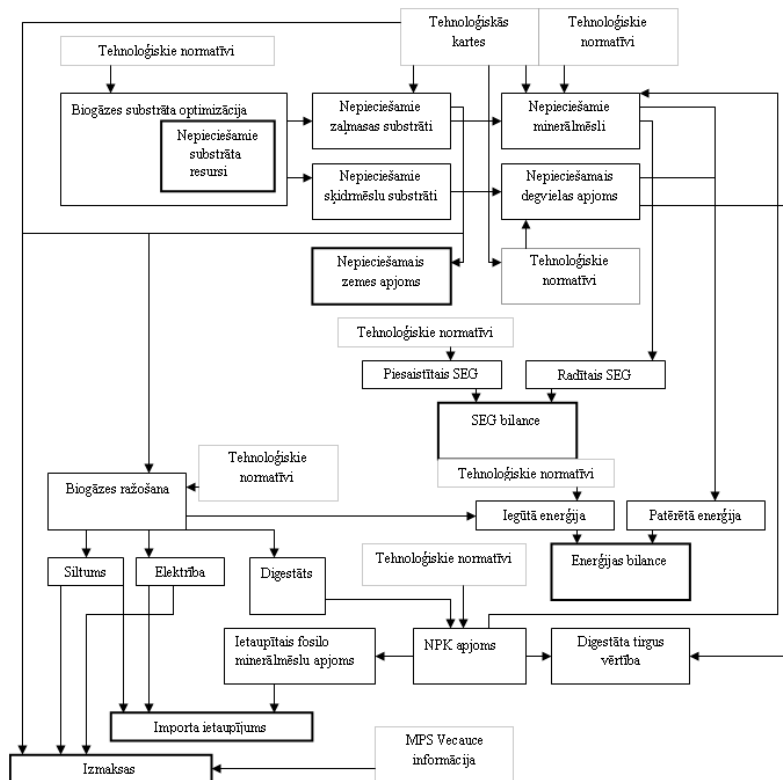
Attēlā parādītais biogāzes ražošanas novērtēšanas modelis paredz 260 kW elektroenerģijas ražošanu koģenerācijas procesā. Šis rādītājs var mainīties atkarībā no uzstādītajām biogāzes iekārtām. Autors analizē dažādus lauksaimniecības izcelsmes substrātus, to izmantošanas lietderību biogāzes ražošanā, galvenokārt vadoties pēc substrāta sagatavošanas izmaksām.

#### 3.1. Biogāzes ražošanas simulācijas modelis

Pilnīgu biogāzes ražošanas novērtējumu Latvijā pagaidām nav iespējams iegūt, jo šī joma ir salīdzinoši jauna, maz pētīta. Iztrūkstot statistikas datiem, nepieciešams iegūt ticamu informāciju, kas ļautu izvērtēt biogāzes izmantošanas iespējas lauksaimniecībā, enerģētikā un reģionu attīstībā.

Ražošanas modelis būtībā ir ražošanas funkcija, kas ietver lauksaimniecības produktu ražošanu (substrāta sagatavošana), biogāzes ieguvu, koģenerācijas procesu, tam visam rezultējoties elektrības un siltuma iegūšanā un realizācijā.

Līdztekus šim procesam veidojas pārstrādātais substrāts jeb digestāts, kas tālāk var tikt atgriezts saimniecības ciklā kā mēslojums. Modelis ir pietuvināts Latvijas Lauksaimniecības universitātes MPS „Vecauce” biogāzes ražošanas modelim, kas nodrošina aprēķināto vērtību atbilstību praktiskās darbības rezultātiem.



Avots: autora veidots

6.att. **Biogāzes ražošanas simulācijas modeļa aprēķinu blokhēma.**

Modeļa pamats ir zeme, uz kuras audzē kultūraugus trīs nozarēm: enerģijas ražošanai, lopkopības un augkopības nozarēm. Modelis paredz trīs nosacītus ražošanas lokus, kas integrējas kopējā nosacīti slēgtā sistēmā caur enerģijas ražošanu jeb konkrēti substrāta sagatavošanu. Pirmais loks ir biogāzes ražošana, kas rezultējas biogāzes realizācijā vai turpinās koģenerācijas procesā, iegūstot produktus (elektroenerģija un siltumenerģija) realizācijai. Loku noslēdz digestāta izmantošana, ko izmanto augsnes mēslošanai. Otrais loks ir lopkopības produktu ražošana. Modeļa ietvaros netiek aprēķināts ieguvums no piena un gaļas realizācijas, jo tiek pieņemts, ka lopkopības un enerģijas

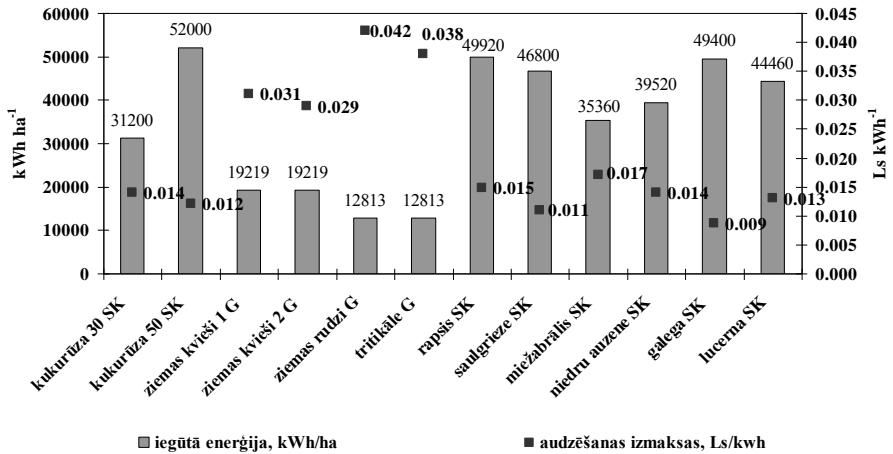
ražošana būtiski nekonkurē viena ar otru, bet gan papildina. Vienojošais elements ir kultūraugi, ko var izmantot gan lopkopībai, gan enerģijas ražošanai, bet kūtsmēsļu izmantošana biogāzes ieguvē tiek uzskatīta par lauksaimniecības nozarēs ekoloģijas rehabilitējošu faktoru. Pretēja situācija ir augkopības produktu ražošanā, kur atkarībā no produktu cenām var veidoties iekšēja konkurence starp lauksaimniecības apakšnozarēm, kas var radīt papildus pieprasījumu pēc zemes. Biogāzes enerģijas ražošanas modeļa aprēķinu blokskāma attēlota 6. attēlā.

Simulācijas modeļa pamatā ir optimāls substrāta maisījums, kas iegūts, sastādot optimizācijas uzdevumu. Substrāta veidi nosaka nepieciešamo zemes apjomu, tehnoloģijas, iegūtās/patērētās enerģijas apjomu, importa aizvietošanas vērtību, kā arī radīto SEG emisiju apjomu. Importa aizvietošanas vērtība veidojas no ietaupīto fosilo minerālmēsļu apjoma, ko kompensē pārraudzētā substrāta – digestāta izmantošana kultūraugu mēslošanā, tāpēc svarīgi noteikt digestāta tirgus vērtību. Bez tam importa ietaupījums rodas no vietējo resursu izmantošanas, kas neprasa enerģijas resursu importu.

### **3.1.1. Enerģētisko augu audzēšanas izmaksu modelēšana**

Enerģijas ražošanai fermentācijas ceļā kā izejvielu var izvēlēties samērā plašu biomasas spektru. Promocijas darba autors nosakot optimālo substrāta maisījumu aprēķinos iekļauj gan lopkopības atlikumus – kūtsmēslus, gan dažādus enerģētiskos kultūraugus. Simulācijas modelī augkopības substrātam nepieciešamie aprēķini balstās uz audzēšanas izmaksu aprēķiniem, ņemot vērā zinātnieku un praktiķu vērtējumu par iespējamām ražībām pie noteiktām tehnoloģiskajām kartēm. Šādu pieeju promocijas darba autors pamato ar augu ražības grūti modelējamajiem faktoriem, ko ietekmē klimatiskie apstākļi, sējas laiks, novākšanas laiks. Pētījumā ražības ir pieņemtas saskaņā ar zinātnieku (A. Adamoviča) un zemnieku vērtējumu.

Enerģētisko augu audzēšanas izmaksu salīdzinājums uz zaļmasas iznākumu ir tikai nosacīts starpposms, lai spētu izvērtēt salīdzinošās izmaksu priekšrocības. Nepieciešams ņemt vērā sausnas iznākumu, biogāzes ieguvu no sausnas, metāna saturu sausnā. Tomēr, lai varētu salīdzināt augu enerģētisko vērtību, tiek izmantotas atziņas no A. Kalniņa, Dž. Merfija (*J. Murphy et al.*), kā arī Z. Gailis, J. Bartuseviča, V. Dubrovska un citu zinātnieku rakstiem. Rezultātā izveidots salīdzinošs attēls, kurā promocijas darba autors parāda enerģētisko augu aprēķinātā enerģētiskā potenciāla teorētisko enerģijas ieguvu no viena hektāra un šīs enerģijas vienas vienības vērtību latos (skat. 7. att).



Piezīmes: 30 un 50 – zaļās masas ražības; SK – skābarība, G – graudi; 1 un 2 – audzēšanas tehnoloģijas

Avots: autora aprēķini

### 7. att. Iegūstamais enerģijas potenciāls un tā izmaksas dažādiem enerģētiskajiem kultūraugiem Latvijā, kWh ha<sup>-1</sup>; LVL kWh<sup>-1</sup>.

Neskatoties uz augsto enerģētisko vērtību, graudus izmantot biogāzes ieguvei kavē gan salīdzinoši augstās enerģijas vienības izmaksas no 0.029 LVL kWh<sup>-1</sup> ziemas kviešiem līdz 0.042 LVL kWh<sup>-1</sup> ziemas rudziem, gan zems enerģijas teorētiskais ieguvums no hektāra – 12 līdz 19 tūkstoši kWh ha<sup>-1</sup> (skat. 7. att.). Kukurūzai pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup> ir liels kopējais enerģijas iegums 52 tūkstoši kWh no 1 ha pie zemas enerģijas vienības cenas – 0.012 LVL kWh<sub>teor</sub><sup>-1</sup>. Apliecinot kukurūzas ražības augsto nozīmi, enerģijas ieguvums pie ražības 30 t ha<sup>-1</sup> ir krietni mazāks – 31 tūkstoši kWh no 1 ha, kas samērojams ar daudzgadīgo zālāju rādītājiem, bet augstākas ir enerģijas vienības izmaksas 0.014 LVL kWh<sub>teor</sub><sup>-1</sup>.

Savukārt 7. attēlā parādītie analizētie daudzgadīgie zālaugi, tāpat arī saulgriezes, izceļas ar augstu enerģijas ieguves teorētisko potenciālu no 1 ha, galegai tas sasniedz 49.4 tūkstošus kWh, saulgriezei 46.8 tūkstošus kWh. Augsts šis rādītājs ir arī rapšim 49.9 tūkstoši kWh, ja tas izmantots kā zaļās masas augs. Bet, ja šie augi tiek vērtēti no izmaksu pozīcijām, tad vislētāko enerģiju var iegūt no galegas – 0.009 LVL kWh<sup>-1</sup> enerģijas un saulgriezēm – 0.011 LVL kWh<sup>-1</sup>. No vērtētajiem daudzgadīgajiem zālaugiem visdārgākā enerģija iegūstama no miežabrāļā 0.017 LVL kWh<sup>-1</sup>.

Izvērtējot šos rādītājus, kā perspektīvākās izvirzās trīs kultūras – kukurūza, galega, saulgriezes, kā arī lucerna. Pie tam kukurūzas audzēšanā attaisnojas intensīvās audzēšanas tehnoloģija, kuru realizējot iespējams iegūt zaļās masas ražu 50 t ha<sup>-1</sup>.

### 3.1.2. Substrāta fermentācija un biogāzes ieguve

Biogāze ir anaerobas fermentācijas rezultātā iegūts gāzveida kurināmais, kas sastāv no 50-70% metāna (CH<sub>4</sub>), 30-40% oglekļa dioksīda (CO<sub>2</sub>) un citiem komponentiem, piemēram, N<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S. Biogāzi ir iespējams iegūt dabiskā procesā purvos, kūdras purvos un atkritumu izgāztuvēs, kā arī, izmantojot speciālus raudzētājus, no kūtsmēsliem, notekūdeņiem, zaļās biomasas un atkritumiem, kas bioloģiski sadalās. Iegūtās biogāzes enerģētiskā vērtība parasti ir intervālā 5-7 kWh m<sup>-3</sup>.

Dažādiem lauksaimnieciskās izcelsmes substrāta veidiem ir atšķirīgi rādītāji, kas raksturo iespējamo biogāzes iznākumu, metāna saturu substrātā un sausnes saturu, jāņem vērā fermentācijai nepieciešamais laiks. Līdz ar to arī substrāta vienas vienības izmaksas ir visai atšķirīgas.

Bez substrātu raksturojošiem lielumiem, izvēloties optimālo substrāta maisījumu, jāņem vērā biogāzes fermentera tilpums un pieļaujамais sausnes saturs, kas nepieciešams, lai nodrošinātu optimālus bioķīmiskos procesus.

### 3.1.3. Optimālā substrāta maisījuma noteikšana

Biogāzes fermentācijas procesu ražotnes ietvaros ierobežo virkne faktoru, kuri jāņem vērā, lai iegūtu optimālo substrāta maisījuma recepti. Nepieciešamos nosacījumus var izteikt kā nosacījumu sistēmu (1.) un izrēķināt kā optimizācijas uzdevumu, tādā veidā iegūstot optimālo substrāta daudzumu un maisījuma attiecību.

$$\begin{cases} a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots a_nx_n = b \\ e_1x_1 + e_2x_2 + e_3x_3 + \dots e_nx_n = g \\ x_1 + x_2 + x_3 \\ x_1 + x_2 + x_3 + \dots x_n = X \end{cases}, \quad (1.)$$

kur  $a$  – elektroenerģijas normatīvs no substrāta veida, kWh t<sup>-1</sup> diennaktī<sup>-1</sup>;

$b$  – koģenerācijas stacijas maksimālā jauda, kWh diennaktī<sup>-1</sup>;

$e$  – sausnas saturs substrātā, %;

$g$  – optimālais sausnas saturs fermenterī, %;

$x$  – optimālais substrāta veida apjoms, t diennaktī;

$X$  – maksimālais iespējамais substrāta pievadīšanas apjoms, t diennaktī.

Elektroenerģijas ieguves normatīvs  $a_i$  un sausnas saturs substrātā  $e_i$  ir atkarīgi no substrāta veida –  $i$ .

Optimizācijas uzdevumā promocijas darba autors ietvēra enerģijas apjoma nosacījumu, ko ietekmē koģenerācijas stacijas jauda. Elektroenerģijas ražošana tiek uzskatīta par pamatdarbības veidu, līdz ar to, piemēram, digestāta minerālvielu vērtībām netiek piešķirta būtiska nozīme.

**Modelēšanai izmantoto substrātu pamatrādītāji**

Substrāta veids	šķīdirmēsli	graudi (ziemas kvieši)	kukurūzas skābbarība	zāles skābbarība
Elektroenerģijas normatīvs (ax), kWh t <sup>-1</sup>	39.00	1085.00	350.00	254.00
Sausnas saturs, %	7.00	87.00	33.00	35.00
Substrāta cena, LVL t <sup>-1</sup>	2.00	113.00	20.57	30.18

*Avots: autora aprēķini izmantojot Vecauce, 2012; Kalniņš, 2009*

Vislētākais substrāts ir šķīdirmēsli, bet ņemot vērā pieļaujamo apjomu dienā, kas izriet no substrāta optimālā fermentēšanas laika, iegūst tikai apmēram trešdaļu nepieciešamās jaudas. Parauga piemērā tas būtu, ka pārstrādei nepieciešamās 55 tonnas šķīdirmēsļu dotu tikai 2145 kWh elektroenerģijas jeb 34% no nepieciešamās jaudas – 6240 kWh diennaktī. Tā kā svarīgākais nosacījums netiek izpildīts, šī alternatīva nav optimāla. Optimāla maisījuma recepte būtu 12.7 tonnas (22%) kukurūzas skābbarības un 46.1 tonnas (78%) šķīdirmēsļu, šāda attiecība ļautu sasniegt nepieciešamo jaudu, iekļaujoties izvēlētajā bioreaktora tilpuma ierobežojumā, tomēr nesasniedzot nepieciešamo (17%) vidējo sausnas saturu. Promocijas darba autors ir aprēķinājis šāda substrāta maisījuma kopējās izmaksas, un tās ir 353.26 LVL diennaktī jeb 0.057 LVL kWh<sup>-1</sup> elektroenerģijas.

**3.1.4. Nepieciešamās lauksaimniecības zemes modelēšana**

Nepieciešamās zemes aprēķins ir atkarīgs no enerģētisko augu ražības, no potenciālās jaudas, kas iegūtā no attiecīgā izejvielas substrāta, no sausnas satura, no lopu skaita un to veidiem. Šķīdirmēsļus var uzskatīt par blakus produktu pārtikas ražošanai, tāpēc mājlopu vajadzībām izmantotā lauksaimniecības zeme var tikt ieskaitīta nosacīti.

Nepieciešamais substrāta daudzums optimizācijas modelī tika aprēķināts 1 diennaktij, tādēļ nosakot kopējo substrāta apjomu nepieciešams aprēķināt to daudzumu, kas nepieciešams, lai nodrošinātu elektroenerģijas līgumā paredzētās 8000 h gadā.

Pēc tādas pašas metodes autors aprēķina nepieciešamo substrāta apjomu no enerģētiskajiem kultūraugiem. Lai nodrošinātu elektroenerģijas ražošanu atbilstoši līgumā paredzētajam apjomam, nepieciešams 4233.3 tonnas kukurūzas skābbarības un 15366.7 tonnas šķīdirmēsļu.

Zemes apjomu, kas nepieciešams, lai sagatavotu kukurūzas skābbarību, aprēķina vienkārši izdalot nepieciešamo skābbarības apjomu ar vidējo ražību saimniecībā, kas ir 50 t ha<sup>-1</sup>. Tad iegūst, ka skābbarības substrāta sagatavošanai nepieciešams 84.7 ha lauksaimniecībā izmantojamās zemes (260 kW<sub>el</sub> jauda).

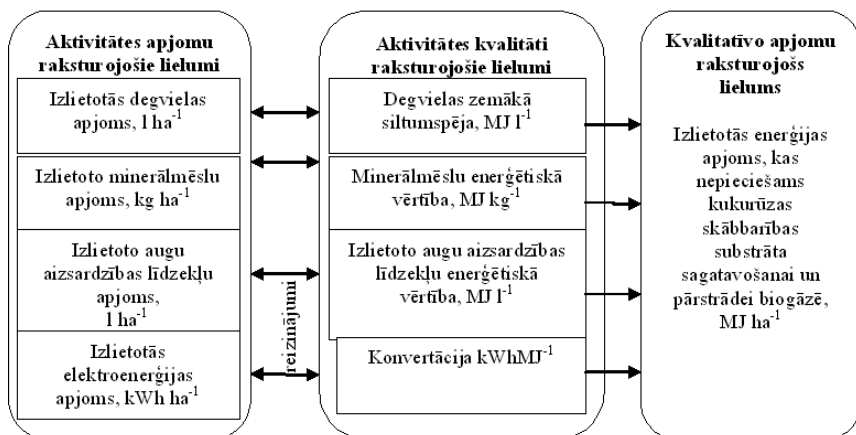
Sarežģītāk ir aprēķināt zemes platību paredzētā substrāta ieguvei no šķidrmēsliem. Sākumā jāaprēķina nepieciešamais liellopu skaits, kas spēj saražot nepieciešamo šķidrmēsli apjomu. Aprēķins izriet no iepriekšējā nodaļā aprakstītās metodes un iegūstams sareizinot esošo govju skaitu ar šķidrmēsli ieguves normatīvu, vai iespējams arī uzskaitīt kopējo šķidrmēsli apjomu. Aprēķinos tiek izmantots, ka no liellopa iegūst 22 t šķidrmēsli gadā, tad modeļa uzdevuma gadījumā šķidrmēsli substrāta sagatavošanai nepieciešamas 698 govīs, pēc tam autors aprēķina vienai govij nepieciešamo lauksaimniecības zemes platību, kas atkarīga no liellopu audzēšanas tehnoloģijas un intensifikācijas pakāpes.

Ņemot vērā nosacījumus vienas govīs barības nodrošināšanai, nepieciešams 0.978 ha lauksaimniecības zemes, sareizinot ar govju skaitu, iegūst nepieciešamo zemes platību 683.4 ha.

Kopā nepieciešams 768 ha lauksaimniecības zemes, lai slēgtā režīmā saimniecība spētu nodrošināt 260 kW<sub>el</sub> koģenerācijas stacijas darbību, jāpiezīmē, ka lielākā daļa jeb 91% izmantotās zemes paredzēta lopkopības sektora nodrošināšanai.

### 3.1.5. Biogāzes ražošanas enerģijas bilance

Enerģijas izmantošanu var iedalīt tiešajā un netiešajā enerģijas lietošanā. Tiešās enerģijas izmantošana ir enerģija, ko var izteikt tieši enerģijas vienībās (degviela, smērvielas, elektrība), turpretim netiešo enerģiju (augu aizsardzības līdzekļi, mēslojums) nevar šādi izteikt.



Avots: autora veidots

8. att. Izlietotās enerģijas aprēķināšanas shēma substrāta sagatavošanai un pārstrādei biogāzē no 1ha lauksaimniecības zemes.



Būtībā enerģijas bilanci var aprēķināt, saskaitot patērēto degvielas un elektroenerģijas apjomu, kā arī kopējo iztērēto enerģijas apjomu resursu iestrādei lauksaimniecības produktu ražošanā un transportēšanā.

Enerģijas bilanci raksturo izlietotās un iegūtās enerģijas attiecība jeb enerģijas efektivitātes koeficients  $E_k$ , ko autors saskaņā ar 8. attēlā redzamo shēmu aprēķina pēc formulas:

$$E_k = \frac{E_{ieg.}}{Q_{degv.} * R_{degv.} + Q_{minerālm.} * R_{minerālm.} + Q_{aizs.} * R_{aizs.} + E_{el.} * R_{el.}}, \quad (2.)$$

kur  $E_k$  – enerģijas efektivitātes koeficients;

$E_{ieg.}$  – no vienā hektārā saražotās biomasas iegūtās biogāzes primārās enerģijas daudzums, kas tiek aprēķināts, sareizinoz iegūtās biogāzes daudzumu ar biogāzes zemāko siltumspēju, MJ ha<sup>-1</sup>;

$Q_{degv.}$  – degvielas apjoms, kas nepieciešams, lai izaudzētu, novāktu un transportētu kukurūzu uz biogāzes ražošanas vietu, l ha<sup>-1</sup>;

$R_{degv.}$  – degvielas zemākā siltumspēja, MJ l<sup>-1</sup>;

$Q_{minerālm.}$  – minerālmēslu apjoms, kas nepieciešams, lai izaudzētu kukurūzu, kg ha<sup>-1</sup>;

$R_{minerālm.}$  – primārais enerģijas patēriņš minerālmēslu sagatavošanai, MJ kg<sup>-1</sup>;

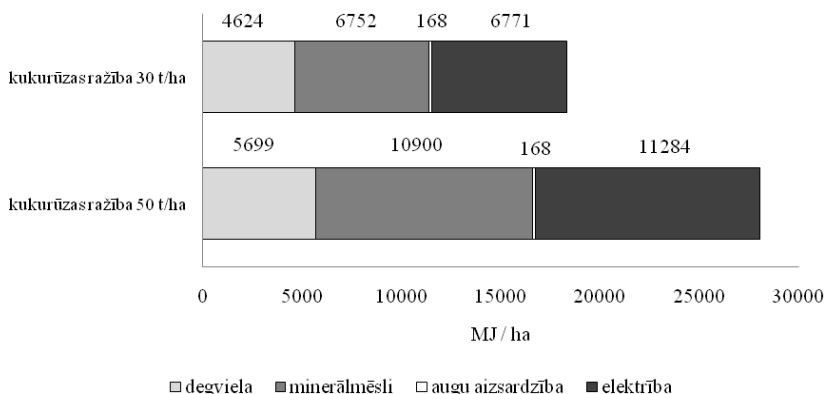
$Q_{aizs.}$  – augu aizsardzības līdzekļi, kas nepieciešami, lai izaudzētu kukurūzu, l ha<sup>-1</sup>;

$R_{aizs.}$  – primārais enerģijas patēriņš augu aizsardzības līdzekļu sagatavošanai, MJ l<sup>-1</sup>;

$E_{el.}$  – elektroenerģijas patēriņš, MJ;

$R_{el.}$  – elektroenerģijas primārās enerģijas saturs, MJ MJ<sup>-1</sup>.

Promocijas darba autors aprēķinus veic pēc divām kukurūzas zaļās masas audzēšanas tehnoloģijām: intensīvā audzēšanas tehnoloģija, kuru izmantojot iespējams iegūt kukurūzas ražību 50 t ha<sup>-1</sup> un mazāk intensīvo tehnoloģiju, iegūstot ražību 30 t ha<sup>-1</sup>. Veicot aprēķinus nepieciešams izmantot vairākus normatīvus, pieņēmumus un pielīdzinātos aprēķinus, ar tiem tuvāk var iepazīties promocijas darbā. Aprēķinu pamatā ir vairāku zinātnieku teorētiskie un praktiskie pētījumi, tādu kā Gerina (*Gerin*), Dalgārda (*Dalgaard*), Romaneli (*Romanelli*), Milana (*Milan*), Pošla (*Pöschl*), Adamoviča, Dubrovska u.c.



Avots: autora veidots

### 9. att. Izlietotās enerģijas struktūra biogāzes ražošanai no kukurūzas skābbarības, ievērojot kultūras ražību, MJ ha<sup>-1</sup>.

**Izlietotās enerģijas.** Ievietojot iegūtās vērtības enerģijas bilances aprēķina formulā, iegūst, ka nepieciešamā enerģija pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup> ir **28 051 MJ ha<sup>-1</sup>**, bet pie ražības 30 t ha<sup>-1</sup> ir **18 315 MJ ha<sup>-1</sup>**. Rezultātu apkopojums un sadalījums ir attēlots 9. attēlā.

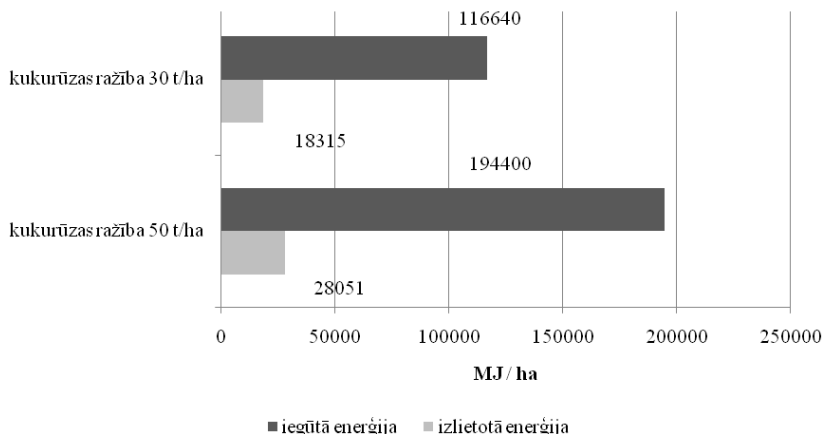
Izlietotās enerģijas apjoms pie zemākās ražības ir par 35% mazāks salīdzinājumā ar enerģijas izlietojumu pie 50 t ha<sup>-1</sup> ražības. Rēķinot uz vienu kukurūzas zaļmasas tonnu, iegūst **561 MJ t<sup>-1</sup>** pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup> un **610 MJ t<sup>-1</sup>** pie ražības 30 t ha<sup>-1</sup>. Apstiprinās intensīvās biomasas ražošanas priekšrocības, neskatoties uz augstāku īpatnējo enerģijas patēriņu uz vienu LIZ vienību, augstāka ražība ir energoefektīvāka. Šis aprēķins iekļauj gan substrāta sagatavošanu, gan enerģijas ražošanu, tāpēc uztverams kā starprezultāts. Nepieciešams novērtēt patērētās un iegūtās enerģijas attiecību, kas ļauj izdarīt mērķtiecīgākus secinājumus.

**Iegūtā enerģija.** Aprēķins balstās uz diviem lielumiem. Pirmkārt, ir nepieciešams noteikt biogāzes iespējamo iznākumu no vienas tonnas kukurūzas zaļmasas, otrkārt, noteikt biogāzes enerģētisko vērtību. Ja pieņem, ka no tonnas svaigas kukurūzas masas var iegūt 180 m<sup>3</sup> biogāzes, biogāzes zemākā siltumspēja ir 21.6 MJ m<sup>3</sup>, tīra metāna – 35.9 MJ m<sup>3</sup> (Šmigins, 2008), tad pārstrādājot 1 t kukurūzas zaļās masas iegūst 3888 MJ enerģijas. Pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup> iegūst **194 400 MJ ha<sup>-1</sup>** un pie ražības 30 t ha<sup>-1</sup> iegūst **116 640 MJ ha<sup>-1</sup>** (skat. 10. att.). Citi autori (Adamovičs u.c., 2009) norāda, ka no kukurūzas iespējams iegūt, pārstrādājot biogāzē, 36901 kWh ha<sup>-1</sup> līdz 46126 kWh ha<sup>-1</sup> jeb 132 843 līdz 166 053 MJ ha<sup>-1</sup>. Šajā enerģijas bilancē promocijas darba autora aprēķinātās vērtības ir plašākā intervālā, jo aprēķinātas pie atšķirīgām ražībām,

bet Adamoviča un kolēģu aprēķinātās vērtības varētu būt pie kukurūzas ražības ap 40 t ha<sup>-1</sup>.

**Enerģijas bilances novērtējums.** Kā šīs apakšnodaļas sākumā tika minēts enerģijas bilance būtībā ir izlietotās un iegūtās enerģijas attiecība. Ievietojot enerģijas bilances aprēķina formulā iegūtos rādītājus (skat. 10. att.):

- 1) iegūtās enerģijas attiecība pret izlietoto ir **1 pret 6.38** pie ražības 30 t ha<sup>-1</sup>;
- 2) **1 pret 6.93** pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup>. Tas nozīmē, ka, patērējot vienu enerģijas vienību, pretī var saņemt līdz septiņām reizēm vairāk enerģijas.



Avots: autora veidots

#### 10. att. Iegūtā un izlietotā enerģija biogāzes ražošanai no kukurūzas, ievērojot kultūras ražību, MJ ha<sup>-1</sup>.

Pošla un kolēģu pētījumā secināts, ka enerģijas bilance salīdzinoši primārās enerģijas ievades un izlāides attiecība (*Primary Energy Input and Output ratio*), svārstās atkarībā no substrāta veida un transportēšanas attāluma, un ir 10.5 - 64% robežās (Pöschl et al., 2010). Promocijas darba autora iegūtais enerģijas bilances rezultāts ir līdzīgs kā pētījumos Vācijā, lai gan ir nelielas atšķirības metodikā un izvēlētajos nosacījumos par transportēšanas attālumu.

Enerģijas attiecība liecina par ražošanas ekonomiskās jēgas esamību, jo izlietotais enerģijas apjoms ir ievērojami mazāks nekā iegūtais enerģijas apjoms. Tāpat apstiprinās iepriekš teiktais, ka, ievērojami intensificējot ražošanu ar augstākām mēslošanas normām, var iegūt augstāku enerģētisko iznākumu uz vienu lauksaimniecības zemes vienību. Protams, šo secinājumu nevajag absolutizēt, tas jāsaprot ar agronomijas zinātnes atziņām par mēslošanas intensitātes un ražas iznākuma iespējām.

### 3.1.6. Siltumnīcas efekta gāzu apjoma novērtējums biogāzes ražošanā

Promocijas darba autors šajā apakšnodaļā veic SEG bilances aprēķinu, aprēķini ļauj novērtēt SEG bilanci pie divām kukurūzas audzēšanas tehnoloģijām. SEG bilances aprēķināšanas metodes vizuālā shēma ir līdzīga izlietotās enerģijas shēmai (skat. 8. att.). Aktivitātes apjomu raksturojošie lielumi ir tādi paši, atšķiras aktivitātes kvalitāti raksturojošie lielumi, kas šajā gadījumā saistīti ar SEG emisiju apjomu. Aprēķinos saskaitāmos veido aktivitātes apjomu raksturojošs (litri, kg, kWh u.c.) reizinātājs un aktivitātes kvalitāti raksturojošs ( $\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{kg}^{-1}$ ,  $\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{m}^{-3}$  u.c.) reizinātājs. Siltumnīcas efekta gāzu emisiju bilanci var aprēķināt, reizinot aktivitātes līmeni ar emisijas faktoru izteiktu  $\text{CO}_2$  ekvivalenta vienībās, attiecinot pret augu piesaisīto  $\text{CO}_2$  apjomu ( $EM_{\text{ieg}}$ ). Analītiskā izteiksmes veidā formula ir šāda:

$$EM_k = (Q_{\text{degv.}} * EF_{\text{degv.}} + Q_{\text{minerālm.}} * EF_{\text{minerālm.}} + Q_{\text{aizs.}} * EF_{\text{aizs.}} + Q_{\text{el.}} * EF_{\text{el.}} + Q_{\text{biog.}} * EF_{\text{dedz.}}) - EM_{\text{ieg}}, \quad (3.)$$

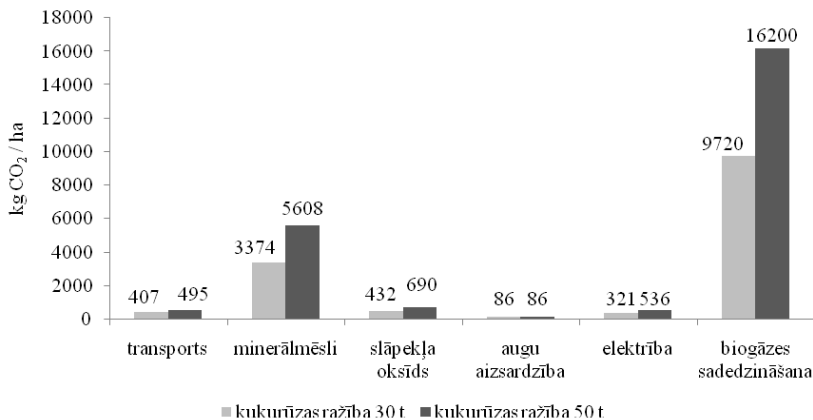
kur

- $EM_k$  – radītais SEG emisiju apjoms,  $\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1}$ ;
- $EM_{\text{ieg}}$  – piesaisītais  $\text{CO}_{2\text{eq}}$  apjoms (kukurūza),  $\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{ha}^{-1}$ ;
- $Q_{\text{degv.}}$  – degvielas apjoms, kas nepieciešams, lai izaudzētu, novāktu un transportētu kukurūzu uz biogāzes ražošanas vietu,  $\text{l ha}^{-1}$ ;
- $EF_{\text{degv.}}$  – degvielas emisijas faktors,  $\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{l}^{-1}$ ;
- $Q_{\text{minerālm.}}$  – minerālmēsļu apjoms, kas nepieciešams, lai izaudzētu kukurūzu,  $\text{kg ha}^{-1}$ ;
- $EF_{\text{minerālm.}}$  – minerālmēsļu emisijas faktors,  $\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{kg}^{-1}$ ;
- $Q_{\text{aizs.}}$  – augu aizsardzības līdzekļi, kas nepieciešami, lai izaudzētu kukurūzu,  $\text{l ha}^{-1}$ ;
- $EF_{\text{aizs.}}$  – augu aizsardzības līdzekļu emisijas faktors,  $\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{l}^{-1}$ ;
- $Q_{\text{el.}}$  – elektroenerģijas apjoms,  $\text{kWh ha}^{-1}$ ;
- $EF_{\text{el.}}$  – elektroenerģijas raksturīgais emisijas faktors Latvijā,  $\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{kWh}^{-1}$ ;
- $Q_{\text{biog.}}$  – no viena ha iegūstamais biogāzes apjoms, audzējot kukurūzu,  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ;
- $EF_{\text{dedz.}}$  – biogāzes sadedzināšanas radītās  $\text{CO}_2$  emisiju apjoms (normatīva vērtība),  $\text{kg CO}_2 \text{m}^{-3}$ .

Rezultāti apkopoti atbilstoši pa saskaitāmo pāriem, kas veido kopējo radīto SEG apjomu. Savukārt, lai izveidotu bilanci, nepieciešams aprēķināt augu piesaisīto  $\text{CO}_2$  apjomu, ko patērē fotosintēzes procesā.

**Radītās SEG emisijas.** Summējot kopā radīto SEG emisiju apjomu visā biogāzes ražošanas ciklā, sākot no kultūraugu izaudzēšanas un beidzot ar biogāzes sadedzināšanu, iegūst, ka kopumā tiek saražots **14340  $\text{kg CO}_2 \text{ha}^{-1}$**  pie ražības **30  $\text{t ha}^{-1}$**  un **23565  $\text{kg CO}_2 \text{ha}^{-1}$**  pie ražības **50  $\text{t ha}^{-1}$** . Rezultāti pa atsevišķiem saražotajiem  $\text{CO}_2$  apjomiem apkopoti ir 11. attēlā.

Lielāko daļu emisiju rada biogāzes sadedzināšana  $9720 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$  un  $16200 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$ , kas ir nedaudz zem 70% no kopējām emisijām. Nākamā lielākā radīto emisiju grupa ir minerālmēsļu ražošanas un izmantošanas emisijas, kas veido vairāk nekā 23% no kopējām emisijām. Izvērtējot emisijas uz kukurūzas zaļās masas vienību jāsecina, ka emisiju apjoms svārstās nedaudz, pie ražības  $30 \text{ t ha}^{-1}$  ir **478 kg CO<sub>2eq</sub> t<sup>-1</sup>**, pie ražības  $50 \text{ t ha}^{-1}$  **471.3 kg CO<sub>2eq</sub> t<sup>-1</sup>**.



Avots: autora veidots

### 11. att. SEG emisiju apjoms biogāzes ieguves procesā no kukurūzas skābarības, kg CO<sub>2eq</sub> ha<sup>-1</sup>.

Pamatojoties uz to, ka pamatprodukcija ir enerģija, ārkārtīgi svarīgi aprēķināt kopējo SEG emisiju apjomu uz vienu enerģijas vienību. Lai sarāžotu 1 MJ enerģijas, tiek radīti **122.9 g CO<sub>2eq</sub>** pie ražības  $30 \text{ t ha}^{-1}$  un **121.2 g CO<sub>2eq</sub>** pie ražības  $50 \text{ t ha}^{-1}$ . Jāsecina, ka kultūraugu ražība būtiski neietekmē radīto SEG emisiju apjomu. Aprēķini akcentē biogāzes sadedzināšanas procesa un mēslošanas līdzekļu lielo ietekmi uz ilgtspējīgu biogāzes ražošanu. Tāpēc digestāta lietošana ir svarīgs faktors biogāzei nepieciešamā substrāta audzēšanā ne vien kā ekonomiskai svarīgs nosacījums, bet arī kā enerģētikas un vides ieguvums.

**Fotosintēzes procesā piesaistītais CO<sub>2</sub> apjoms.** Enerģētisko augu izmantošanai enerģētikā kā būtisks vides ieguvums ir ne tikai fosilo resursu aizvietošana, bet arī SEG piesaistīšana, kas notiek auga fotosintēzes procesā. Piesaistīto CO<sub>2</sub> apjomu var aprēķināt sareizinot sausas daudzumu ar CO<sub>2</sub> piesaistes faktoru.

Tiek pieņemts, ka kukurūzas sausas saturs zaļajā masā ir 33%. Tas dod rezultātu, ka no ha iegūst  $9.9 \text{ t}_{\text{sausn}}$ , ja zaļās masas ražība  $30 \text{ t ha}^{-1}$  un  $16.5 \text{ t}_{\text{sausn}}$ , ja ražība  $50 \text{ t ha}^{-1}$ .

Otrā nepieciešamā lieluma CO<sub>2</sub> piesaistes faktora (PF<sub>kukur.</sub>) aprēķināšanai nepieciešami dati no lauka novērojumiem, kuru promocijas darba autoram nav, tāpēc autors izmantos jau zinātniskajā literatūrā minētus CO<sub>2</sub> piesaistes faktorus. Kukurūzas skābarībai pieņemtais CO<sub>2</sub> piesaistes faktors ir 17745 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> pie saunas ražības 13 t ha<sup>-1</sup> (Chianese et al., 2009) jeb, sadalot uz vienu saunas masas vienību, 1365 kg CO<sub>2</sub> t DM ha<sup>-1</sup>, bet sadalot uz vienu enerģijas vienību, no ha iegūst 0.114 kg CO<sub>2</sub> MJ<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. Izmantotā pētījuma autori balstās uz novērojumiem ASV, emisiju piesaistes faktors ir zemāks nekā Latvijas zinātnieku Adamoviča un kolēģu pētījumā, kur tas ir 0.1767 kg CO<sub>2eq</sub> MJ<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> pie ražības 40 t ha<sup>-1</sup> kukurūzas zaļmasas. Tas nozīmē, ka teorētiski kukurūza Latvijā piesaista vairāk CO<sub>2</sub> nekā ASV, ko promocijas darba autoram izskaidrot ir grūti. ASV veiktajā pētījumā ražība izteikta saunas vienībās, bet Latvijas pētījumā zaļmasas vienībās, rezultāti ir aptuveni salīdzināmi. Ņemot vērā piesardzību, lai neradītu pretenciozu priekšstatu par biogāzi kā ilgtspējīgu produktu, autors izvēlēšies mazāko no vērtībām, kas ir 1365 kg CO<sub>2</sub> t DM ha<sup>-1</sup>. Iegūtos lielumus var ievietot vienādojumā un aprēķināt piesaistīto CO<sub>2</sub> apjomu. Pie ražības 30 t ha<sup>-1</sup> kukurūzas zaļā masa piesaista **13513.5 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>**, bet pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup> kukurūzas zaļā masa piesaista **22522.5 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>**.

**SEG bilance.** Nodaļā iegūtie aprēķinātie rezultāti ir apkopoti 3. tabulā.

3. tabula

**SEG emisiju bilance enerģijas ieguvei no biogāzes, izmantojot kukurūzas substrātu**

SEG emisiju avots	Radīti kg CO <sub>2eq</sub> ha <sup>-1</sup>	Radīti g CO <sub>2eq</sub> MJ <sup>-1</sup>	Radīti kg CO <sub>2eq</sub> ha <sup>-1</sup>	Radīti g CO <sub>2eq</sub> MJ <sup>-1</sup>
	<i>Kukurūzas ražība 30 t ha<sup>-1</sup></i>		<i>Kukurūzas ražība 50 t ha<sup>-1</sup></i>	
Transports un traktortehnika	406.9	3.5	495.2	2.5
Mīnerālmēsli (N 34.4; NPK 16-16-16)	3373.9	28.9	5558.3	28.6
Mīnerālmēsli (N <sub>2</sub> O)	432.2	3.7	689.7	3.5
Augu aizsardzības līdzekļi	86.3	0.7	86.3	0.4
Elektroenerģija	320.8	2.8	535.6	2.8
Biogāzes sadedzināšana	9720.0	83.3	16200.0	83.3
KOPĀ radīts CO <sub>2eq</sub>	14340.1	122.9	23565.1	121.2
Fotosintēzes procesā piesaistītais CO <sub>2</sub>	-13513.5	-115.9	-22522.5	-115.9
<b>SALDO 1</b>	<b>826.6</b>	<b>7.0</b>	<b>1042.6</b>	<b>5.3</b>
Fosilās enerģijas komparators	×	-85.0	×	-85.0
<b>SALDO 2</b>	×	<b>-78.0</b>	×	<b>-79.7</b>

*Avots: autora veidots*

SEG apjoma aprēķinā uz vienu MJ ņemts vērā, ka no viena ha tiek iegūti 116640 MJ enerģijas pie ražības 30 t ha<sup>-1</sup> un 194400 MJ pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup>. Fosilās enerģijas kurināmā komparators koģenerācijai, rēķinot enerģijas ietaupījumu saskaņā ar Direktīvas 2009/28 5. pielikuma C daļas 19. punktu, ir 85 g CO<sub>2eq</sub> MJ<sup>-1</sup>.

Saskaņā ar iegūto SEG emisiju bilanci biogāzes izmantošanas ciklā, kas iegūta no kukurūzas substrāta, papildus tiek saražoti 7 g CO<sub>2eq</sub> MJ<sup>-1</sup> pie ražības 30 t ha<sup>-1</sup> un 5.3 g CO<sub>2eq</sub> MJ<sup>-1</sup> pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup>. Salīdzinot biogāzes izmantošanā radīto CO<sub>2eq</sub> apjomu ar fosilās enerģijas komparatoru, iegūst negatīvu vērtību. Tas nozīmē, ka pilnā enerģijas ražošanas ciklā, kurā no kukurūzas skābbarības substrāta tiek iegūta biogāze, bet pēc tam koģenerācijas procesā iegūta elektroenerģija, CO<sub>2</sub> tiek radīts vairāk nekā piesaistīts fotosintēzes ceļā.

Lai arī papildus saražotās CO<sub>2</sub> vērtības pārsniedz fotosintēzes ceļa piesaistītās vērtības, tās tomēr ir salīdzinoši nelielas, ja salīdzina ar fosilās enerģijas izmantošanas emisijām. Radīto SEG emisiju attiecība pret fotosintēzes ceļā piesaistīto CO<sub>2</sub> ir 1 : 0.94 pie kukurūzas ražības 30 t ha<sup>-1</sup> un 1 : 0.96 pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup>. Būtībā šis process ir tuvs neitrālam.

### 3.1.7. Saražotās enerģijas apjoms un izmaksas

Enerģijas ražošanas izmaksas sastāv no mainīgajām un fiksētajām izmaksām. Simulācijas modelī ietverto izmaksu sadalījums parādīts 4. tabulā. Mainīgo izmaksu pamatkomponente ir substrāta izmaksas, kas saskaņā ar optimizācijas modeli ir 353.26 LVL diennaktī jeb 128 939.90 LVL gadā. Apkalpošanas un uzturēšanas izmaksas sastāv no darbaspēka izmaksām, bioreaktora uzturēšanas izmaksām, substrāta iekraušanas izmaksām.

Saimnieciskās darbības analīze lauksaimniecībā pieļauj dažādus uzskaites variantus iekšējā patēriņa raksturošanai, kas var dot arī atšķirīgus rezultātus. Uzņēmuma vadītājs, atkarībā no vajadzības un tirgus situācijas, konkurē gan gaļas, gan piena, gan augkopības produktu tirgū, un enerģijas ražošana ir uzņēmuma darbību stabilizējošs faktors.

Enerģijas ražošanā svarīgs radītājs ir izmaksas uz vienu enerģijas vienību, ko veido saražotā elektroenerģija un lietderīgā siltuma enerģija simulācijas modelī. Kopējais saražotais enerģijas apjoms ir 3 559 215 kWh gadā. Aprēķinātās izmaksas uz vienu enerģijas vienību parādītas 4. tabulas 4. kolonnā. Nozīmīga izmaksu komponente ir fiksētās izmaksas, kurās lielāko daļu veido maksājumi par koģenerācijas staciju, kā arī substrāta izmaksas, kuras veido turpat pusi no kopējām izmaksām. Kopējās izmaksas – 0.076 LVL kWh<sub>lied.s&elek</sub><sup>-1</sup> nevar pielīdzināt realizācijas cenai, jo ietver sevī elektroenerģijas un siltuma enerģijas kopējo cenu. Praktiski tie ir dažādi tirgi, tāpēc cenas un izmaksas jāsadala siltuma un elektrības izmaksās un realizācijas cenā.

**Simulācijas modeļa saimniecības enerģijas ražošanas  
izmaksu sadalījums, gadā**

<b>Izmaksu veids</b>	<b>Izmaksu summa, Ls</b>	<b>Izmaksas uz jaudas vienību, LVL kW<sub>el</sub><sup>-1</sup></b>	<b>Izmaksas uz enerģijas vienību, LVL kWh<sub>netd.s&amp;elek</sub><sup>-1</sup></b>	<b>Izmaksu īpatsvars, %</b>
<b>Fiksētās izmaksas</b>	82 000	315.38	0.023	30.5
<b>Mainīgās izmaksas</b>				
Substrāta izmaksas	128 940	495.92	0.036	47.9
Darba izmaksas	23 000	88.46	0.006	8.6
Pakalpojumi un preces	17 000	65.38	0.005	6.3
Substrāta pārvietošanas tehnikas izmaksas	18 000	69.23	0.005	6.7
<b>KOPĀ:</b>	<b>268 940.00</b>	<b>1034.37</b>	<b>0.076</b>	<b>100.0</b>

*Avots: autora aprēķini*

Ekserģijas praktiska aprēķināšana ir pietiekami komplicēta un ietver sevī vairākus nezināmus parametrus, tāpēc simulācijas modeļa ietvaros, promocijas darba autors, balstoties uz D. J. Kima (*Kim*) (2010) pētījumu, pieņem procentuālo kopējās ekserģijas sadalījumu, kas atbilst 35% siltuma ekserģijas un 65% elektroenerģijas ekserģijai. Atbilstoši iepriekšminētajam, siltuma izmaksas būtu 0.084 LVL kWh<sup>-1</sup> un elektroenerģijas izmaksas 0.064 LVL kWh<sup>-1</sup>. Šie izmaksu aprēķini neietver investīciju vai ražošanas atbalsta programmu iespējamo finansējumu.

### 3.2. Digestāta izmantošanas efekts

Digestāts ir pārraudzētais substrāts, kas rodas biogāzes ražotnē metāna rūgšanas procesā. Izmantojot digestātu, var papildus netieši samazināt SEG emisijas, kuras rodas lauksaimnieciskās ražošanas procesā.

#### 3.2.1. Tirgus vērtības un nepieciešamā daudzuma noteikšana

Digestāta ķīmiskais sastāvs ir atkarīgs no fermentizācijai ievadītā substrāta. Salīdzinot dažādu substrātu sastāvus, kopslāpekļa un fosfora attiecība ir mazāk mainīga, bet kālija saturs ir mainīgs, to visvairāk ietekmē sausas saturs. Kā atzīst biogāzes ražotāji, digestāta praktiskās izmantošanas efektivitāte praktiskos lauka izmēģinājumos vēl nav pietiekami novērtēta, jo digestāta izmantošanas pieredze Latvijā ir visai neliela.



Digestāta barības vielu sastāva (N-P-K attiecības) noteikšanai promocijas darba autors izmantojis vidējās vērtības, kuras tika iegūtas no biogāzes ražotājiem Latvijā un MPS „Vecauce” direktores I. Grudovskas komentāriem. Laboratoriskās analīzes, kuras veiktas digestāta paraugiem Latvijā, uzrāda, ka lielāko daļu no tajā pieejamajām augu barības vielām veido kālijs, nedaudz mazākā apjomā ir slāpekļlis, bet vismazāk fosfors.

Novērtēt digestāta izmantošanas ekonomisko efektu pēc būtības nozīmē salīdzināt ar alternatīvajām izmaksām, šajā gadījumā ar izmaksām, kādas veidojas, izmantojot fosilos minerālmēslus. Fosilo minerālmēslu tīrvielas cenas parādītas 5. tabulā, cenā iekļauts arī pievienotās vērtības nodoklis.

5. tabula

**Minerālmēslu un digestāta augu barības vielu vērtība, LVL kg/t<sup>-1</sup>**

Tīrvielas elements	Fosilo minerālmēslu tīrvielas cena, LVL kg <sup>-1</sup>	Tīrviela digestātā	
		apjoms, kg t <sup>-1</sup>	vērtība, LVL t <sup>-1</sup>
N	0.73	1.87	1.37
P	1.53	0.57	0.87
K	0.58	2.77	1.61
Kopā			<b>3.85</b>

Avots: autora aprēķini pēc SIA „Latfert” 2011. gada informācijas

Izmantojot tīrvielas cenas un zinot digestātā esošo barības vielu (N-P-K) saturu, var aprēķināt digestāta ekonomisko vērtību, pēc formulas:

$$V_{\text{digest.}} = ((P_{\text{tīrv.N}} * B_{\text{dig.N}} * B_{\text{sausn.}}) + (P_{\text{tīrv.P}} * B_{\text{dig.P}} * B_{\text{sausn.}}) + (P_{\text{tīrv.K}} * B_{\text{dig.K}} * B_{\text{sausn.}})) * 1000, \quad (4.)$$

kur  $V_{\text{digest.}}$  – digestāta ekonomiskā vērtība, LVL t<sup>-1</sup>;

$P_{\text{tīrv.}}$  – fosilo minerālmēslu tīrvielas i cena, LVL kg<sup>-1</sup>;

$B_{\text{dig.i}}$  – barības elementa i masas daļa sausnā;

$B_{\text{sausn.}}$  – sausnas masas daļa digestātā;

i – barības elementi N (slāpekļlis), P (fosfors), K (kālijs).

Saskaņā ar aprēķiniem, digestāta augu barības vielu vērtība ir 3.85 LVL t<sup>-1</sup>. Lai noteiktu digestāta pašizmaksu, aprēķinos nepieciešams iekļaut arī transportēšanas un izkļiedēšanas izmaksas, kas digestātam, pateicoties mazajam sausnas saturam, ir visai augstas. Arī fosilo minerālmēslu izmantošanā nepieciešamas tādas pašas tehnoloģiskās operācijas. Tomēr fosiliem minerālmēsliem augu barības vielu koncentrācija ir daudz augstāka, līdz ar to augu barības vielu lietošana ir ekonomiski efektīvāka. Tāpēc, aprēķinot digestāta tirgus cenu, promocijas darba autors ņem vērā ar digestāta iestrādi saistītās papildu izmaksas.

Atbilstoši izvēlētajām kukurūzas audzēšanas tehnoloģijām, lai izaudzētu 30 t ha<sup>-1</sup> kukurūzas nepieciešams 116.8 kg slāpekļa, 48 kg fosfora un 48 kg

kālija tīrvielas, turpretim 50 t ha<sup>-1</sup> lielai kukurūzas ražai nepieciešams 186 kg slāpekļa, 83 kg fosfora un 83 kg kālija tīrvielas uz 1 ha. Nosakot nepieciešamo digestāta daudzumu fosilo minerālmēslu aizvietošanā nepieciešams vadīties pēc slāpekļa nepieciešamības, jo tas ir gaistošāks, augsni un apkārtējos ūdeņus piesārņojošāks elements. Šī elementa lietošanu arī regulē 2011. gada MK noteikumi Nr. 33. Analizētajā piemērā nepieciešams 62.5 t ha<sup>-1</sup> digestāta mēslojuma pie ražības 30 t ha<sup>-1</sup> un 99.5 t ha<sup>-1</sup> pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup>. Digestāta un fosilo minerālmēslu lietošanas tehnoloģiju salīdzinājums, aprēķinātie rezultāti iekļauti 6. tabulā.

6. tabula

**Fosilo minerālmēslu un digestāta transportēšanas un izkļiedēšanas/izsmidzināšanas tehnoloģisko operāciju izmaksu salīdzinājums, ievērojot kukurūzas biomasas ražību (t ha<sup>-1</sup>), LVL**

Rādītājs	Mērvienība	Minerālmēsli		Digestāts	
Ražība	t ha <sup>-1</sup>	30	50	30	50
Izmaksas:					
Transportēšana	Ls ha <sup>-1</sup>	0.35	0.57	43.13	68.66
C <sub>transp.</sub>	Ls t <sup>-1</sup> <sub>dig.</sub>			0.69	0.69
Izsmidzināšana/ izkļiedēšana	Ls ha <sup>-1</sup>	20.54	30.81	76.19	121.36
C <sub>izsmidz./izkl.</sub>	Ls t <sup>-1</sup> <sub>dig.</sub>	×	×	1.22	1.22
Cilvēku darbs,	Ls ha <sup>-1</sup>	0.42	0.69	10.43	16.62
C <sub>cilv.h</sub>	Ls t <sup>-1</sup> <sub>dig.</sub>	×	×	0.17	0.17
<b>Kopā</b>	Ls ha <sup>-1</sup>	21.31	32.07	<b>129.75</b>	<b>206.64</b>
	Ls t <sup>-1</sup> <sub>dig.</sub>	×	×	<b>2.08</b>	<b>2.08</b>

Avots: autora aprēķini pēc 2011. gada cenām

Minerālmēslu izkļiedēšanas un transportēšanas izmaksas ir sešas reizes zemākas kā digestātam jeb 21.31 LVL ha<sup>-1</sup> un 32.07 LVL ha<sup>-1</sup>. Digestāta un fosilo minerālmēslu transportēšanas un iestrādes izmaksu starpība ir 108.44 LVL ha<sup>-1</sup> pie kukurūzas zaļmasas ražības 30 t ha<sup>-1</sup> jeb 1.74 LVL t<sup>-1</sup><sub>dig.</sub> un 174.57 LVL ha<sup>-1</sup> pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup> jeb 1.75 LVL uz iestrādāto digestāta tonnu.

Pamatojoties uz to ka, izmantojot fosilos minerālmēslus, pircējs akceptē ar to iestrādi saistītās izmaksas pie noteiktās minerālmēslu cenas, digestāta minerālvielu vērtība ir samazināma par vērtību, kas iekļauj ar digestāta iestrādi saistītos papildus izdevumus. Tātad, nosakot digestāta tirgus vērtību, nepieciešams no digestāta augu barības vielu vērtības naudas izteiksmē 3.85 LVL t<sup>-1</sup> atņemt transportēšanas un iestrādes papildus izmaksas 1.75 LVL t<sup>-1</sup><sub>dig.</sub>. Pie esošajiem nosacījumiem **digestāta tirgus vērtība ir 2.10 LVL t<sup>-1</sup><sub>dig.</sub>**

### 3.2.2. Fosilo minerālmēslu aizvietošanas iespējas ar digestātu

Digestāta izmantošanas galvenā priekšrocība ir saistīta ar fosilo minerālmēslu aizvietošanu. Aizvietošanas rezultātā tiek samazinātas izmaksas fosiliem minerālmēsliem un samazināts CO<sub>2</sub> apjoms, kas saistīts ar minerālmēslu ražošanu.

Promocijas darba autors nosaka iespēju fosilos minerālmēslus aizvietot ar digestātu, kas iegūts no 1 ha platībā izaudzētas kukurūzas. Autors pieņem, ka no 1 t kukurūzas skābbarības iegūst 1 t digestāta.

No 1 ha audzētas kukurūzas pie zaļmasas ražības 30 t ha<sup>-1</sup> var iegūt 51 kg slāpekli, 15 kg fosforu un 75 kg kāliju. Līdzīgi aprēķināts iegūtais augu barības elementu daudzums digestātā pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup>, ņemot vērā 10% zudumus, šajā gadījumā iegūst 84 kg slāpekli, 26 kg fosforu un 125 kg kāliju.

7. tabula

**Kukurūzas mēslošanai izmantoto fosilo minerālmēslu un iegūtā digestāta izmaksu salīdzinājums, ievērojot kukurūzas biomasas ražību (t ha<sup>-1</sup>), LVL ha<sup>-1</sup>**

Augu barības viela		Kukurūzas ražība 30 t ha <sup>-1</sup>			Kukurūzas ražība 50 t ha <sup>-1</sup>		
		Mēslojuma izmaksas LVL ha <sup>-1</sup>			Mēslojuma izmaksas LVL ha <sup>-1</sup>		
element	tīrvielas cena Ls kg <sup>-1</sup>	fosilie minerālmēsli	digestāts	+/-	fosilie minerālmēsli	digestāts	+/-
N	0.73	85.41	37.23	48.18	135.78	61.32	74.46
P	1.53	73.44	22.95	50.49	126.99	39.78	87.21
K	0.58	27.84	43.50	×	48.14	72.50	×
Kopā		186.69	103.68	<b>98.67</b>	310.91	173.60	<b>161.67</b>

Piezīme: × netiek aprēķināts, jo K mēslojums tiek nodrošināts pilnībā

Avots: autora aprēķini

Digestāts, kas iegūts no 1 ha kukurūzas zaļmasas, pilnībā var nodrošināt nepieciešamo kālija daudzumu, 1 ha kukurūzas izaudzēšanā. Bet neatkarīgi no ražības, nepieciešams papildus dot vēl slāpekļa un fosfora mēslojumu. Digestāts pie esošajiem nosacījumiem dod **44-45% slāpekļa** mēslojuma ietaupījumu, **31% fosfora** un **100% kālija** mēslojuma **ietaupījumu**. Aprēķinot saimniecības finansiālos ietaupījumus, izmaksu salīdzinājuma rezultāti apkopoti 7. tabulā.

Ja aprēķinu pamatā ir digestātā esošo barības vielu apjoms, kopējais ietaupījums no digestāta lietošanas ir 103.68 LVL ha<sup>-1</sup> pie ražības 30 t ha<sup>-1</sup> un 173.60 LVL ha<sup>-1</sup> pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup>. Jāsecina, ka neatkarīgi no ražības, ietaupījums no fosilo minerālmēslu apjoma samazinājuma, izmantojot digestātu, ir nedaudz lielāks nekā puse no nepieciešamajiem ieguldījumiem kukurūzas mēslošanā. Tātad atgriežot digestātā palikušo N-P-K var iegūst 56%

izmaksu ietaupījumu uz vienu platības vienību, ko iztērētu par minerālmēslu iegādi. Šāds ietaupījuma apjoms uzskatāms par maksimālu, jo digestāta mēslojums ir grūtāk variējams.

Iekļaujot operāciju sadārdzinājumu, kas saistīts ar digestāta lielā apjoma transportēšanu un izsmidzināšanu, iegūst, ka ietaupījums uz vienu ha ir 41.04 LVL pie ražības 30 t ha<sup>-1</sup> un 70.94 LVL ha<sup>-1</sup> pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup>. Salīdzinot šo ietaupījumu ar fosilo minerālmēslu lietošanas izmaksām uz 1 ha iegūst, ka **kopējais (resursu un iestrādes izmaksu) ietaupījums ir 16 līdz 20%.**

### 3.2.3. Digestāta izmantošanas vides faktori

Autors, nosakot digestāta vides faktoros, izvēlas vienkāršotu metodi, kurā SEG efekts, kas rodas fosilos minerālmēslus aizvietojojot ar digestātu, ir starpība starp digestāta izmantošanā ietaupīto minerālmēslu emisiju apjomu un degvielas radīto emisiju apjomu, kas papildus nepieciešamas, lai izsmidzinātu digestāta mēslojumu.

SEG emisiju apjomu normatīvu noteikšanā izmantoti *BioGrace* projekta emisijas faktoru aprēķina dati (Biograce - List of..., 2011). Rezultāti apkopoti 8. tabulā.

8. tabula

#### Ietaupītais SEG emisiju apjoms, aizvietojojot fosilos minerālmēslus ar digestātu, pie kukurūzas ražības 30 t ha<sup>-1</sup> un 50 t ha<sup>-1</sup>

Augu barības vielas elementi	Augu barības vielu tūrvielas apjoms, kg ha <sup>-1</sup>				Minerālvielu SEG emisijas faktors, kg CO <sub>2eq</sub> kg <sup>-1</sup>	Ietaupītais SEG emisiju apjoms, kg CO <sub>2eq</sub> ha <sup>-1</sup>	
	digestātā		izteikts fiziskajā minerālmēslu apjomā*			<i>Kukurūzas ražība t ha<sup>-1</sup></i>	
	<i>Kukurūzas ražība t ha<sup>-1</sup></i>		<i>Kukurūzas ražība t ha<sup>-1</sup></i>			<i>Kukurūzas ražība t ha<sup>-1</sup></i>	
	30	50	30	50		30	50
N	51	84	146	240	6.209	906.5	1490.2
P	15	26	31	54	0.731	22.7	47.5
K	75	125	125	208	0.308	38.5	64.1
Kopā						967.7	1601.8

\* pielīdzinātās vērtības Latvijā izmantotajiem minerālmēsliem pēc BioGrace pētījumā izmantotajiem normatīviem: amonija nitrāts (N 35%), trīskāršais superfosfāts (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 48%), kālija hlorīds (K<sub>2</sub>O 60%)

*Avots: autora aprēķini, izmantojot Biograce - List of..., 2011*

Iegūtais kopējais **SEG emisiju ietaupījums ir 967.7 kg CO<sub>2eq</sub> ha<sup>-1</sup>** pie ražības 30 t ha<sup>-1</sup> un **1601.8 kg CO<sub>2eq</sub> ha<sup>-1</sup>** pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup>. Aprēķinot procentuālo SEG emisiju ietaupījumu no digestāta mēslojuma lietošanas attiecībā pret kopējo emisiju apjomu, iegūst, ka izmantojot digestātu **SEG emisijas samazinās par 29%.**

Digestāta izmantošanā papildus SEG emisijas būtībā rada: digestāta transportēšana un digestāta izsmidzināšana. Tehnoloģisko procesu siltumnīcas gāzu emisijas nosaka kā degvielas emisijas faktora un izlietotā degvielas apjoma reizinājumu. Ar digestāta lielā apjoma transportēšanu un izsmidzināšanu papildus tiek saražoti 151.9 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> pie ražības 30 t ha<sup>-1</sup> un 243.7 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup>.

Atgriežoties pie digestāta izmantošanas ietaupīto SEG emisiju apjoma aprēķina, izmantojot 3. vienādojumu var iegūt, ka izmantojot digestātu kā mēslojumu, salīdzinājumā ar fosilo mēslojumu, SEG ietaupījums ir **815.8 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>** pie ražības 30 t ha<sup>-1</sup> un **1358.1 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>** pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup>. Attiecinot iegūto rezultātu uz kopējām emisijām, kas saistītas ar substrāta sagatavošanu, iegūst, ka digestāta izmantošana samazina biogāzes substrāta izaudzēšanas un sagatavošanas radīto SEG emisiju apjomu par 18% (precīzāk 17.7 un 18.3% atkarībā no ražības). Digestāta izmantošana rada pozitīvu efektu ne vien uz biogāzes saimniecības finansiālajiem radītājiem, bet pozitīvi ietekmē arī saimniecības vides ilgtspēju.

## 4. BIOENERĢIJAS CIEMATA IZVEIDES KONCEPCIJA

*Nodaļas saturs darbā aizņem 22 lpp., kurās ietilpst 6 tabulas un 5 attēli.*

Promocijas darba ceturtā nodaļa ir veltīta bioenerģijas ciemata koncepcijas praktiskai analīzei. Autors, balstoties uz Vācijas bioenerģijas ciematu veidošanās principiem, izmantojot iepriekš izstrādāto biogāzes ražošanas simulācijas modeli, veiks aprēķinus, lai izvērtētu bioenerģijas ciema izveidošanas saimnieciskos un vides ieguvumus, tam nepieciešamos resursus. Nodaļas ietvaros ir atspoguļoti arī iedzīvotāju aptaujas rezultāti, lai novērtētu sabiedrības atbalstu alternatīvu enerģijas resursu izmantošanā. Nodaļas noslēgumā veikti aprēķini, lai novērtētu ieguvumus kādi rastos, ja šāds bioenerģijas ciemata modelis tiktu realizēts 24 Latvijas mazpilsētās, kurās šobrīd ir pieejama dabasgāzes infrastruktūra.

### 4.1. Izveides nosacījumi

Bioenerģijas ciemata izveidē nozīmīgākais ir panākt pilnīgu siltuma (100%) un daļēju (50%) elektroenerģijas pašnodrošinājumu, izmantojot vietējos resursus, uzlabot vides kvalitāti ne tikai vietējā līmenī, bet, ņemot vērā SEG emisiju veidošanos, kopumā, integrēt un uzlabot lauksaimniecisko ražošanu ar resursu efektīvākas izmantošanas palīdzību. Lai veiktu aprēķinus bioenerģijas ciemata izveidei un novērtētu ieguvumus nepieciešams: aprēķināt enerģijas pieprasījumu; analizēt esošo piedāvājumu un esošo resursu pieejamību; analizēt sabiedrības atbalstu atjaunojamo resursu izmantošanai enerģētiskā bioenerģijas ciemata izveides gadījumā.

Ne visus rezultātus iespējams aprēķināt izmantojot tehniskus nosacījumus, tāpēc autors izvēlas vienu Latvijas mazpilsētu – Auci, kas ir par pamatu šajā nodaļā veiktajiem aprēķiniem biociemata izveidē. Piemēra izvēle pamatota ar to, ka MPS „Vecauce” ir daļa no LLU pētnieciskās infrastruktūras; tai ir sava biogāzes stacija, kas potenciāli varētu apgādāt mājsaimniecības ar siltumu; vēsturiski ir izveidojusies situācija, ka MPS jau šobrīd apgādā daļu Auces pilsētas ar siltumu.

Bioenerģijas ciemata izveides nosacījumu izvērtēšanā un analīzē promocijas darba autors lieto jēdzienu „ciemats”, kaut arī, piemēram, Auce ir pilsēta. Saskaņā ar Vācijas administratīvo sadalījumu vietējās administratīvās vienības ir ciemati. Arī zinātniskajā literatūrā tiek lietots termins „bioenerģijas ciemats” nevis „bioenerģijas pilsēta”. Jāņem vērā, ka bioenerģijas ciemata izveide var attiekties tikai uz kādu no pilsētas daļām, tādējādi ciemata jēdziena pielietojums ir pieņemams.

#### 4.1.1. Enerģijas resursu pieprasījums

Analizējot bioenerģijas ciemata izveides iespējas viens no pašiem svarīgākajiem nosacījumiem ir ilgtspējīgs enerģijas pieprasījums, kam raksturīgs stabils ilgtermiņa enerģijas pieprasījums un iedzīvotāju spēja segt enerģijas iegādes izdevumus.

Auce ir tipiska Latvijas mazpilsēta ar lauku teritoriju (4371.7 ha), tai skaitā Auces pilsētas teritorija ir 366.0 ha. Auces pilsētā un Vecauces pagastā dzīvo nedaudz zem 4000 iedzīvotājiem.

Lai noteiktu siltumenerģijas un elektroenerģijas nepieciešamo daudzumu mājsaimniecībās Aucē, promocijas darba autors izmanto divus datu ieguves veidus:

- 1) siltumam datus iegūstot no centrālās siltumenerģijas piegādātājiem, bet individuālo māju gadījumā no iedzīvotāju aptaujas datiem;
- 2) elektrībai dati iegūti aprēķinot pēc vietējā patēriņa no iedzīvotāju aptaujas datiem (aptauja veikta 2010. gadā).

Saskaņā ar Auces Domes datiem 2010. gada 1. janvārī mājsaimniecību skaits Auces pilsētā bija 1104, no tām 561 individuālās mājas, bet 543 – daudzdzīvokļu. Pētījuma ietvaros tika aptaujātas 566 mājsaimniecības, kas veidoja 50% no ģenerālkopas, no tām 267 mājsaimniecības (47.5%) dzīvoja individuālajās mājās un 297 (52.5%) daudzdzīvokļu mājās.

Ņemot vērā visus iepriekšējos nosacījumus un veicot aprēķinus iegūst, ka Auces mazpilsētā gada laikā nepieciešamas **6804.6 MWh siltumenerģijas un 3 765 MWh elektroenerģijas**.

### 4.1.2. Enerģijas resursu piedāvājums

Vietējas izcelsmes enerģijas resursu izmantošana ir viens no obligātiem bioenerģijas ciemata izveides un darbības principiem. Tāpēc nepieciešams izanalizēt iespēju izmantot vietējos primāros enerģijas resursus.

Auces teritorijā elektroenerģiju nodrošina AS Latvenergo, centralizēto siltumapgādi nodrošina SIA "Auces komunālie pakalpojumi" un LLU MPS "Vecauce". Kopš 2003. gada SIA "Auces komunālie pakalpojumi" izmanto vienu katlumāju, kurā tiek kurināta šķelda, savukārt LLU MPS „Vecauce” savā katlu mājā izmanto malku un kā papildus kurināmo sašķidrināto gāzi.

Vecauces biogāzes stacija nodrošināja elektroenerģijas izstrādi 1 768 530 kWh (2009. gadā) 1 626 980 kWh (2010. gadā), rēķinot uz vienu Auces mājsaimniecību 284 kWh mēnesī jeb 3408 kWh gadā, tātad biogāzes stacija var nodrošināt 518 mājsaimniecības ar elektroenerģiju, kas ir puse no Auces pilsētas mājsaimniecībām.

Kā jau apskatīts iepriekš 3. nodaļā, no lauksaimniecības produktiem visefektīvāk iegūt enerģiju no biogāzes kā pamata resursu izmantojot lopkopības atlikumus. Promocijas darba autors šajā nodaļā ir izanalizējis iespējamus resursu piegādātājus un apjomus biociemata energoresursiem.

Analizējot potenciālo lopkopības atlikumu apjomu, nepieciešams ņemt vērā attālumu no lopu fermām (mēslu krātuvēm) līdz biogāzes ražotnēm. Vislielākie resursu apjomi saistāmi ar SIA „PF Vecauce” cūkkopības kompleksu, Īles pagasta SIA „*Baltic Breeders*” cūkkopības kompleksu, Latvijas valsts mežu un privāto mežaudžu resursiem, kā arī ar Auces novadā esošajām 83 kūdras atradnēm.

### 4.1.3. Sabiedrības atbalsts bioenerģijas ciemata izveidei

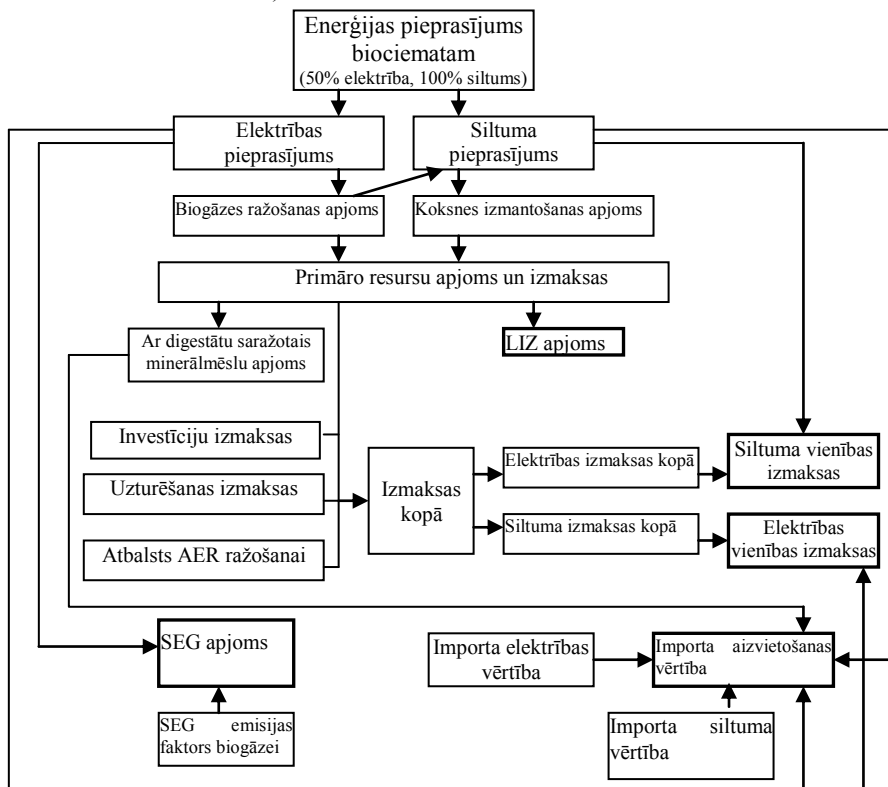
Sabiedrības atbalsts ārējo efektu integrēšanā tirgus sistēmā ir viens no ilgtspējīgas ekonomikas uzdevumiem. Sabiedrības atbalsts bioenerģijas ciemata izveidē ir viens no svarīgākajiem un grūtāk panākamajiem nosacījumiem mērķa sasniegšanā.

Ekonomikā ar gatavību maksāt (*willingness to pay*) saprot personas maksimālo gatavību (vēlmi) maksāt, lai kompensētu kādu labumu, vai kaitējumu, kas rodas saimniekošanas rezultātā, bet nav iekļauts produkcijas izmaksās. Lai noteiktu sabiedrības gatavību maksāt, promocijas darba autors izmanto socioloģisko aptauju, ar mērķi noteikt patērētāju hipotētisko vai faktisko gatavību maksāt. Tikai nedaudz vairāk kā piektā daļa (22%) mājsaimniecību ir gatavas palielināt enerģijas patēriņa izmaksas, lai atbalstītu atjaunojamus resursus. Lielākā daļa uzskata, ka pašreizējais mājsaimniecības ieguldījums ir pietiekošs vai arī pašreizējā situācija neļauj maksāt vairāk par atjaunojamās enerģijas resursu plašāku izmantošanu. Kopumā 362 respondenti (64%) ir pauduši viedokli, ka nevēlas maksāt vairāk.

No iepriekš aprakstītajām bioenerģijas ciemata komponentēm – enerģijas pieprasījuma, enerģijas piedāvājuma un sabiedrības atbalsta, tieši pēdējais ir visjūtīgākais jautājums un saistīts ar lielākiem riskiem. Sabiedrības atbalsts gatavības maksāt veidā ir ietekmējams un maināms rādītājs.

#### 4.2. Bioenerģijas ciematam nepieciešamās enerģijas ražošanas analīze

Pamatojoties uz enerģijas pieprasījumu un resursu piedāvājuma iespējām, promocijas darba autors, ņemot par pamatu Auces piemēru, šajā apakšnodaļā izstrādā **bioenerģijas ciemata enerģijas ražošanas modeli** (aprēķina blokshēmu skat. 12. att.).



Avots: autora veidots

12. att. Bioenerģijas ciemata enerģijas ražošanas modeļa aprēķinu blokshēma.

Modelī piedāvātas šādas enerģijas ražošanas komponentes:

- biogāzes koģenerācija (iegūst elektrību un siltumu);
- koksnes izmantošana siltuma ražošanai,



šīs divas komponentes tiek apvienotas bioenerģijas ciemata vienotajā modelī, bet lai iegūtos rezultātus salīdzinātu ar pašreiz pilsētās dominējošo energoapgādi, tad autors iekļauj arī fosilo resursu komponenti: fosilās enerģijas variants.

Par prioritāti tiek uzskatīta biogāzes ražošana, kas nodrošina bioenerģijas ciematu ar elektroenerģiju un daļu no nepieciešamā siltuma. Pārējo nepieciešamo siltuma apjomu nodrošina katlu māja, kas apkurināta ar koksni.

Fosilās enerģijas izmantošanas variants tiek aprēķināts pēc līdzīgas shēmas kā 12. attēlā. Šajā gadījumā tiek izmantota sašķidrinātā dabas gāze, netiek izmantota koģenerācija, bet gan lokāla siltuma ražošana, līdz ar to shēma ir nedaudz vienkāršāka. Elektroenerģijas pieprasījumu nodrošina publiskais tirgotājs.

Aprēķinu pamatā promocijas darba autors izmanto vairākus pieņēmumus: apkures sezona ilgst 4100 h gadā; kurināmo katla lietderības koeficients ir 0.8; malkas zemākais sadegšanas siltums ir 2.838 MWh t<sup>-1</sup>; šķeldas zemākais sadegšanas siltums ir 2.79 MWh t<sup>-1</sup>; amortizācijas laiks katliem 12 gadi; atbalsta apjoms 40% no attiecināmām izmaksām; nodarbināti 3 kurinātāji uz pilnu slodzi; administrācijas izmaksas 2% no kopējām izmaksām u.c.

Salīdzinot biogāzes koģenerācijas izmantošanas komponentes raksturojošos rādītājus ar koksnes izmantošanas komponentes iegūtajiem rādītājiem, skaidri iezīmējas biogāzes ražošanas komplicētība un kapitāla ietilpība. Kopējās izmaksas biogāzes ražošanai rēķinot uz vienu MWh ir 117.54 LVL gadā, kas ir ievērojami augstākas nekā koksnes izmantošanā. Tomēr svarīgi piebilst, ka šie rādītāji nav salīdzināmi tiešā veidā.

Veidojot sinerģiju starp no biogāzes un no koksnes resursiem ražoto enerģiju, aprēķina ietvaros samazināts no koksnes ražotā siltuma pieprasījums, tas kompensēts ar siltumu, kas iegūts no biogāzes koģenerācijas stacijas. Siltuma apjoms, papildus biogāzes stacijā saražotajam siltumam, kuru jānodrošina no koksnes ir 5325.4 MWh jeb 78.3% no kopējā siltuma daudzuma gadā.

Autors promocijas darba ietvaros, aprēķināja fosilo resursu enerģijas apgādes variantu, kas arī ir uzskatāms par daļēji alternatīvu, jo šajā variantā siltuma apgāde paredz pāreju uz sašķidrināto gāzi. Aprēķinos izmantotie pieņēmumi: sašķidrinātās naftas gāzes siltumspēja ir 27 000 Kcal m<sup>-3</sup>; sašķidrinātās naftas gāzes cena 1.81 LVL m<sup>-3</sup>; gāzes katlumāja ar gāzes rezervuāriem izmaksā 220 000 Ls; nepieciešami 2 kurinātāji; elektrības cena ir AS Latvenergo uzrādītā elektroenerģijas cena, 0.035 LVL kWh<sup>-1</sup>; sašķidrinātās gāzes blīvums 2.26 kg m<sup>-3</sup> u.c.

Aprēķinu rezultāti parādīti 9. tabulā, vienlaicīgi salīdzinot divas alternatīvas: vienotu bioenerģijas ciemata alternatīvu (veido koksnes siltuma un biogāzes koģenerācijas komponentes) un fosilās enerģijas variantu.

Bioenerģijas ciemata enerģijas ražošana ir cieši saistīta ar lauksaimniecību, jo daļa no primārajiem enerģijas resursiem ir lauksaimniecības produkti.

**Bioenerģijas ciemata modeļa un fosilās enerģijas ražošanas  
alternatīvu salīdzinājums**

Rādītāji	Mērvienība	Fosilās enerģijas variants	Bioenerģijas ciemats
Siltumenerģijas vajadzība	MWh	6804.60	6804.60
Elektroenerģijas vajadzība	MWh	3765.10	3765.10
Resursu vajadzība	t; m <sup>3</sup> ber.m <sup>3</sup>	239 695 m <sup>3</sup> sašķidrinātā gāze	4233.30 t skābbarība 15366.70 t šķidrmēsli 2636.40 m <sup>3</sup> malka 3728.60 ber m <sup>3</sup> šķelda
Kurināmā resursu vērtība	Ls kWh <sup>-1</sup>	0.06	0.02
Siltuma iznākums	MWh	6 804.60	6 804.60
Elektrības iznākums	MWh	0	2 080.00
Nodrošinājums siltums, %	%	100	100
Nodrošinājums elektrība, %	%	100*	55.20
Investīcijas iekārtām	Ls gadā	14 666.67	82 410.00
Uzturēšanas izmaksas	Ls, gadā	44 709.69	125 810.39
Substrāta izmaksas	Ls, gadā	433 847.95	190 458.36
Kopā izmaksas	Ls, gadā	493 224.31	398 678.75
Atbalsts investīcijām	Ls, gadā	-	32 964.00
Atbalsts ražošanai (elektrībai)	Ls kWh <sup>-1</sup>	-	0.10 - 0.15
Kopā izmaksas ar atbalstu	Ls, gadā	493 224.31	365 714.75
Siltumenerģijas izmaksas	Ls kWh	0.07	0.03
Elektroenerģijas izmaksas	Ls kWh	0.03*	0.08
Saražotais emisiju apjoms	t CO <sub>2eq</sub>	1886.24	93.50
Importa aizvietošanas vērtība	Ls gadā	-1825.31	199 060.69

Piezīme: \*tiek pieņemts, ka nodrošina publiskais tirgotājs, saskaņā ar SPKR apstiprināto tarifu  
Avots: autora aprēķini

Veicot attiecīgos aprēķinus pēc 12. attēlā parādītās blokshēmas, promocijas darba autors iegūst šādus Auces bioenerģijas ciemata modeļa rādītājus:

- 1) lai nodrošinātu resursu vajadzību ir nepieciešams 4 233.3 t skābbarības un 15 366.7 t liellopu šķidrmēsli, kā arī 2 636.4 m<sup>3</sup> malkas un 3 728.6 ber.m<sup>3</sup> šķeldas;
- 2) lai saražotu skābbarību nepieciešams 84.7 ha lauksaimniecības zemju, zināmā mērā var teikt, ka šai zemei nepieciešama lietojuma maiņa no pārtikas ražošanas uz enerģijas resursu ražošanu. Šeit var izmantot arī neapstrādāto LIZ, kas Auces novadā ir 3 179 ha;
- 3) sabiedrības atbalsts, gatavība maksāt par atjaunojamo enerģiju ir attīstāms un maināms faktors. Aucē tas ir aptuveni tāds pat kā Latvijā kopumā. Aucē 22% gatavi maksāt vairāk par šo enerģiju;
- 4) katru gadu bioenerģijas ciemats dos 1 792.74 t CO<sub>2eq</sub> SEG emisiju ietaupījumu salīdzinot ar fosilās enerģijas izmantošanu energoapgādē.

Nacionālā līmenī tiks ietaupīti 199 060.69 Ls, kas pretējā gadījumā būtu jāiztērē par importētiem energoresursiem;

- 5) māsaiņniecību siltuma izmaksas nepieaugs. Pretēja situācija ir ar elektroenerģiju, šīs izmaksas bioenerģijas ciemata gadījumā ir augstākas nekā elektroenerģijas vidējās izmaksas, ko piedāvā publiskais tirgotājs Latvijā.

Tomēr elektroenerģijas cena satur vēl vairākas komponentes, kā pārvades un sadales tīklu pakalpojuma izmaksas, obligātā iepirkuma komponentes izmaksas, elektroenerģijas tirdzniecības pakalpojuma izmaksas un PVN.

### **4.3. Bioenerģijas ciematu izveides iespējas aizvietojo t dabasgāzi**

Pēc promocijas darba autora izveidotā bioenerģijas ciemata enerģijas ražošanas modeļa, Aucei ir iespējas realizēt bioenerģijas ciemata ideju, taču šobrīd tikai formāli, jo nav būtiska sabiedrības atbalsta idejai. Spilgtāk alternatīvās enerģijas pozitīvie efekti var izpausties pilsētās, kuras savam patēriņam izmanto dabasgāzi. Tāpēc promocijas darba autors šajā apakšnodaļā izstrādāto bioenerģijas ciemata modeli adaptēs 24 apdzīvotajās vietās Latvijā, kuras var nosaukt par mazpilsētām, līdz ar to tās pēc būtības ir līdzīgas Aucei, un kurās ir dabas gāzes infrastruktūra. Autors, ņemot vērā iepriekšējā 4.2. nodaļā veiktos aprēķinus un iegūtos rezultātus, aprēķinās ekonomiskos un vides ieguvumus procesam, ja Latvijas mazpilsētas ar dabas gāzes infrastruktūru pārveidotu par bioenerģijas ciematiem.

Kopā izvēlētajās mazpilsētās dzīvo 168 083 iedzīvotāji, kas ir 8.2% no Latvijas iedzīvotājiem vai 16.9% no iedzīvotājiem Latvijā, kas nedzīvo republikas nozīmes pilsētās. Autoram nav iespējams iegūt pilnīgu informāciju par māsaiņniecību skaitu, enerģijas patēriņu un tā struktūru, tāpēc, aprēķinos tiek izmantots Auces bioenerģijas ciemata piemērs.

Kopā visos 24 bioenerģijas ciematos tiktu saražots – 80 905 MWh elektroenerģijas un 295 638 MWh siltumenerģijas. Iespējamais siltuma patēriņš ir mazs, jo autors pieņem, ka puse no māsaiņniecībām tiek apkurinātas ar dabasgāzi, un tikai puse izmanto atjaunojamos resursus. Vislielākais potenciāls pārejai no dabas gāzes uz atjaunojamiem resursiem ir Rīgas plānošanas reģionā, kurā ir visvairāk mazpilsētu, kas atbilst izvēlētajiem kritērijiem.

Iegūtais SEG samazinājums 44 463 t CO<sub>2eq</sub> gadā, uz kopējo enerģētikas sektorā saražoto apjomu ir neliels. Salīdzinot ar 2011. gadā SEG radīto apjomu enerģētikā 7197 kt CO<sub>2eq</sub>, ietaupījums ir 0.62% no šī apjoma. Bioenerģijas ciemati radītu 1.62% atjaunojamo energoresursu īpatsvara pieaugumu primāro resursu īpatsvarā, kas ir svarīgs rezultāts saistībā ar 2020. gadā sasniedzamo 40% AER īpatsvaru primāro resursu patēriņā.

Latvijas importa vērtība 2011. gadā bija 5 998 518 tūkst. Ls. Bioenerģijas ciemati dotu 0.14% importa vērtības samazinājumu. Ja rēķina kopā importa preču grupas: dabas gāze, elektroenerģija, slāpekļa, fosfora, kā arī kālija minerālmēsli, to iegādei nepieciešami 359 082 446 lati. Aizvietojo t daļu no

šiem produktiem ar bioenerģijas ciematos saražoto enerģijas un augu barības vielu apjomu, iegūst 2.31% importa vērtības ietaupījumu.

Latvijā ir 2 423 231.1 ha LIZ, no kuras 2010. gadā 368 500 ha bija neizmantotā lauksaimniecības zeme (Dubrovskis, 2012). Bioenerģijas ciematu vajadzībām nepieciešamā izmantojamā zeme ir 3 293 ha, kas saistāma ar lietošanas maiņu, to jāatvēr kukurūzas skābbarības audzēšanai, tas veidotu tikai 0.89% no neizmantotās LIZ. Lai nodrošinātu nepieciešamo lopkopības atkritumu substrātu, nepieciešamas 27 180 liellopu vienības, kas veidotu 7.2% no liellopu skaita 2009. gadā, liellopu uzturēšanai vajag 29 877 ha LIZ jeb 8.1% no neizmantotā LIZ.

Svarīgs nosacījums bioenerģijas ciematu izveidē ir bioenerģijas resursu pieejamība, īpaši tas attiecas uz biogāzes izejvielām – enerģētiskajiem kultūraugiem un šķidrmēsliem. Enerģētiskie kultūraugi veiksmīgi izaudzējami jebkurā Latvijas daļā, tāpēc biogāzes substrāta no enerģētiskajiem augiem sagatavošanā vienīgais ierobežojošais faktors ir lauksaimniecības zeme.

Salīdzinot neizmantoto lauksaimniecības zemju apjomu ar nepieciešamajiem LIZ apjomiem bioenerģijas ciematu izveidei, var secināt, ka biogāzes substrāta no enerģētiskiem augiem sagatavošanai būtu nepieciešami tikai 5.8% no kopējām neizmantotajām zemēm minēto mazpilsētu novados esošajiem zemes resursiem. Nevienā no 24 mazpilsētu novadiem nav teritorijas, kurās neizmantoto LIZ apjoms būtu mazāks, kas ierobežotu bioenerģijas ciematu izveidi. Ja pieņem, ka biogāzes zemākā siltumspēja ir  $5.27 \text{ kWh m}^{-3}$ , tad apstrādājot šīs zemes iespējams iegūt 2 708 764 kWh elektroenerģijas un 3 869 663 kWh siltumenerģijas, kas ir 7.6 reizes vairāk nekā nepieciešams 24 mazpilsētās.

Liellopu skaits, kas nepieciešams bioenerģijas ciematu izveides vajadzībām ir pietiekams un veido 35.4% no kopējā 24 Latvijas mazpilsētu novados audzēto mājlopu skaita. Tomēr, atšķirībā no neizmantotā LIZ apjoma, ir 6 mazpilsētu novadi, kuros mājlopu skaits ir nepietiekošs, lai izmantotu biogāzes ieguves modeli. Pārsvarā šie novadi ir Rīgas plānošanas reģionā: Inčukalna novads, Ķekavas novads, Ikšķiles novads, Olaines novads un Salaspils novads, kā arī Cēsu novads – Vidzemes plānošanas reģionā. Tas gan nenozīmē, ka šajās mazpilsētās nevarētu izmantot biogāzes koģenerācijas stacijās saražotu siltumu, jo citu resursu (notekūdeņu dūņas, mājputnu un cūku mēsli, zaļā masa u.c.) ir pietiekami. Šajos novados izvietotajām biogāzes koģenerācijas stacijām būtu jāveido cita veida biogāzes ieguves substrāta maisījums, kas nedaudz mainītu iegūtās biogāzes izmantošanas efektu novērtējumu. Jāakcentē, ka biogāzes ražošanas potenciāls šo mazpilsētu tuvumā esošajos novados, ir daudz lielāks nekā nepieciešams siltumenerģijas nodrošināšanai iedzīvotājiem.

## SECINĀJUMI

1. **Atjaunojamās enerģijas izmantošanas pamatojumu** nosaka nepieciešamība **novērst** fosilās enerģijas izmantošanas radītos **negatīvos ārējos efektus (eksternalitātes)**, kuri sagādā sabiedrībai zaudējumus. Tirgus regulē ražošanas privātās izmaksas, bet politikas veidotāju uzdevums ir nodrošināt sabiedrisko izmaksu segšanas mehānismu darbību.
2. Veiksmīga **teritorijas attīstība saistāma** ne vien ar reģiona objektīvo priekšrocību izmantošanu labklājības veicināšanā, bet arī **ar radīto negatīvo ārējo efektu samazināšanu** un pozitīvo ārējo efektu veidošanās veicināšanu. Negatīvo ārējo efektu novēršanas būtisks nosacījums reģionos ir **pilnvērtīgāka resursu lokāla izmantošana, veidojot saistītas attiecības starp vietējām saimnieciskām vienībām**. Secinājuma pamatā ir industriālās simbiozes ideja, kas paplašinājusies un ieguvusi pilsētas simbiozes aprises, kas nozīmīgas ilgtspējas procesa nodrošināšanā.
3. **Bioenerģijas ciemata** izveide veiksmīgi var nodrošināt apdzīvotas vietas enerģijas nepieciešamību, izmantojot **ciešāku sadarbības veicināšanu starp iedzīvotājiem, enerģijas ražotājiem, kā arī lauksaimniekiem un mežsaimniekiem**. Bioenerģijas ciemati savu praktisko nozīmi ilgtspējīgas attīstības nodrošināšanā apliecinājuši gan attīstības valstīs (Indijā, Ķīnā, Tanzānijā un Ugandā), gan attīstītājās valstīs (Vācijā, Somijā, Zviedrijā). Lai gan **nepastāv viennozīmīgs bioenerģijas ciemata modelis**, kas būtu izmantojams visos reģionos, tomēr **var identificēt ietekmējošos faktoros**: ciemata vai mazpilsētas attīstības perspektīvas, vietējie enerģijas primārie resursi, to veidi un apjomi, esošā infrastruktūra, sabiedrības atbalsts, valsts reģionālā un vides politika.
4. Pārtikas un enerģijas dilemmas, kam pamatā ir zemes ierobežotība, risinājums, ka **efektīva zemes izmantošana panākama ar enerģijas un pārtikas kombinētu ražošanu**. Kopējā enerģijas apjoma izlaide no enerģētiskiem augiem un pārtikas graudiem ir lielāka nekā no lopkopības vai tās kombinācijas ar enerģijas ražošanu. Tas ir teorētisks pamats biogāzes ražošanai no enerģētiskajiem augiem. Vienlaikus sabiedrība nav gatava izslēgt lopkopības produkcijas ražošanu, tāpēc **lopkopības atlikumu izmantošana jākombinē ar enerģijas ražošanu no enerģētiskajiem augiem**.
5. **ES valstis ir definējušas kopīgus enerģētikas mērķus**, samazināt SEG emisiju apjomu par 20%, palielināt atjaunojamo resursu izmantošanu enerģētikā par 20% un uzlabot enerģijas patēriņa efektivitāti par 20%, kā arī virzīties uz kopīgu enerģētikas tirgu. Šos mērķus plānots sasniegt 2020. gadā. Tomēr **praktiskā mērķu sasniegšanas stratēģija ir katras dalībvalsts ziņā**, to nosaka nacionālas īpatnības, resursu pieejamība, citu jomu (lauksaimniecība, mežsaimniecība, reģionālā attīstība) attīstības politikas intereses.

6. Dažādi **pētījumi pierāda alternatīvās enerģijas pozitīvo nozīmi IKP pieaugumā** un tirdzniecības bilancē. IKP savstarpēji pozitīvi ietekmē kapitāla veidošanos, enerģijas importu, atjaunojamo resursu ražošanu, bet nenozīmīgi ietekmē tirdzniecības bilanci. Atjaunojamās enerģijas izmantošana pozitīvi ietekmē enerģijas importu, kas nozīmē, ka atjaunojamai enerģijai nav substitūtu efekta. **Praktiski katram enerģijas veidam dažādos reģionos var būt atšķirīgi rezultāti**, tāpēc dažādu enerģijas veidu izmantošanu jāvērtē atsevišķi konkrētā teritorijā, iekļaujot ietekmes novērtējumu uz importu, SEG emisijām un enerģijas bilanci.
7. **Ekonomikas krīze būtiski ietekmēja atjaunojamo resursu veicināšanas politiku Latvijā**, izvirzot jautājumus par sabiedrības spēju apmaksāt atjaunojamo resursu veicināšanas politiku. Ja pieņem, ka ekonomika būtu turpinājusi attīstīties, tad nepieciešamība mainīt atjaunojamo resursu veicināšanas politiku nebūtu tik izteikta. Salīdzinoši vieglāk alternatīvās enerģijas ieviešana noritēs reģionos, kur alternatīvās enerģijas cenu diferencēšanas ārējo efektu apjoms būs attiecīgi mazāks pret bāzes ienākumiem.
8. Salīdzinot dažādus enerģētiskos kultūraugus kā **iespējamus substrātus biogāzes iegūšanai**, īpaši jāizceļ popularitāti ieguvusī **kukurūza, kā arī galega, saulgrieze** un no daudzgadīgiem zālājiem - **lucerna**. Kukurūza uzrāda labus pašizmaksas radītājus pie intensīvas ražošanas – 0.012 līdz 0.014 LVL kWh<sup>-1</sup> atkarībā no ražības. Jāatzīmē arī kukurūzas nozīmīgais kopražas apjoms – 52 000 kWh ha<sup>-1</sup> pie ražības 50 t ha<sup>-1</sup>. Saulgriezei un galegai arī ir augsts enerģētiskais potenciāls. Enerģijas vienības izmaksas galegai ir tikai 0.009 LVL kWh<sup>-1</sup> un saulgriezei – 0.011 LVL kWh<sup>-1</sup>. Lucernas enerģijas vienības izmaksas ir 0.013 LVL kWh<sup>-1</sup>, ar kopumā ļoti labu enerģijas ieguvumu no hektāra.
9. **Optimāls substrāta maisījums** ar mērķi samazināt enerģijas izmaksas, ņemot vērā sausnas saturu, biogāzes iznākumu, kā arī substrāta veida pašizmaksu, ir **22% kukurūzas skābbarība un 78% šķidrmēsli**. Šāda substrāta maisījuma kopējās izmaksas būtu 0.057 LVL kWh<sup>-1</sup> elektroenerģijas. Izmantojot biogāzes substrāta maisījuma komponentes, kā atbalsta enerģijas ražošanai ierobežojošu faktoru, lietderīgi būtu nesamazināt iespējamo substrāta daudzumu no enerģētiskajiem kultūraugiem zem 25% no kopējā substrāta apjoma. Izmantojot šādu substrāta attiecību, **skābbarības** ražošanai nepieciešams **0.0407 ha MWh<sup>-1</sup>**, turpretim **lopkopībai** astoņas reizes vairāk – **0.3286 ha MWh<sup>-1</sup>**. Biogāzes intensifikācija saistāma ar enerģētisko augu nozīmes pieaugumu substrātā, turklāt zemes lietošanas izmaiņas nenotiks lineāri.
10. Aprēķinot **enerģijas bilanci biogāzes ražošanai**, kas ietver nepieciešamo enerģiju substrāta izaudzēšanai un pārstrādei koģenerācijas stacijā, konstatēts, ka iegūtās enerģijas attiecība pret izlietoto ir **1 pret 6.38** pie ražības 30 t ha<sup>-1</sup> un **1 pret 6.93** pie ražības 50t ha<sup>-1</sup>. Izlietojot vienu

- enerģijas vienību, tiek saražots līdz septiņas reizes vairāk enerģijas. Enerģētisko augu **audzēšanas intensifikācija**, palielinot ražību līdz  $50 \text{ t ha}^{-1}$ , **uzlabo enerģijas ieguves efektivitāti** par 7.9%.
11. Saskaņā ar iegūto  $\text{CO}_2$  bilanci, biogāzes ražošanā no kukurūzas substrāta tiek saražoti papildu  $7.0 \text{ g CO}_2 \text{ MJ}^{-1}$  pie ražības  $30 \text{ t ha}^{-1}$  un  $5.3 \text{ g MJ}^{-1}$  pie ražības  $50 \text{ t ha}^{-1}$ , tātad enerģētisko augu **audzēšanas intensifikācija samazina SEG emisiju apjomu**. Radīto SEG emisiju attiecība pret fotosintēzes ceļā piesaistīto  $\text{CO}_2$  ir 1:0.94 vai 1:0.96, būtība šis process ir tuvs neitrālam.
  12. **Lielākās** biogāzes ražošanas **izmaksu komponentes** ir biogāzes **substrāta izmaksas** (47.9%) un **fiksētās izmaksas** (30.5%), no kurām vislielāko apjomu veido investīcijas stacijas būvniecībā. Sadalot visas enerģijas ražošanas izmaksas uz vienu enerģijas vienību, iegūst –  $0.076 \text{ LVL kWh}$  lietderīgās enerģijas. Sadalot šīs izmaksas uz siltumu un elektrību, iegūst  **$0.084 \text{ LVL kWh}^{-1}$  siltumenerģijas izmaksas** un  **$0.064 \text{ LVL kWh}^{-1}$  elektroenerģijas izmaksas**. Tas nozīmē, ka bez sabiedrības finansiāla atbalsta enerģijas ražošana no biogāzes ir dārga un nespēj konkurēt ar konvencionālajām ražotnēm.
  13. Vadoties pēc digestāta barības vielu satura, tā tirgus vērtība ir  $3.85 \text{ LVL t}^{-1}$ , ņemot vērā papildu transportēšanas un iestrādes izmaksas,  $1.75 \text{ LVL t}^{-1}$ , kas saistītas ar lielāku apjomu salīdzinājumā ar fosiliem minerālmēsliem, tad digestāta tirgus vērtība ir  $2.10 \text{ LVL t}^{-1}$ .
  14. **Digestāta izmantošana rada pozitīvu efektu** ne vien uz biogāzes saimniecības finansiālajiem radītājiem, bet arī pozitīvi ietekmē saimniecības vides ilgtspēju. **Aizvietojot fosilos minerālmēslus** ar saražoto digestātu, **iegūst  $41.04 \text{ LVL ha}^{-1}$  ietaupījumu** pie ražības  $30 \text{ t ha}^{-1}$  un  **$70.49 \text{ LVL ha}^{-1}$  ietaupījumu** pie ražības  $50 \text{ t ha}^{-1}$  jeb **16 līdz 20% no fosilo minerālmēslu izmantošanas izmaksām**. Kā arī samazina SEG emisiju apjomu par  $7.0 \text{ g CO}_2 \text{ MJ}^{-1}$ . Digestāta izmantošana kultūraugu mēslošanā samazina gaisā esošo SEG emisiju apjomu un globālās sasilšanas potenciālu.
  15. **Sabiedrības atbalsts alternatīvai enerģijai** Aucē ir **salīdzinoši neliels**. Tikai 22% gatavi maksāt vairāk, lai veicinātu alternatīvās enerģijas izmantošanu. Šis atbalsta līmenis ir ļoti līdzīgs sabiedrības atbalstam Latvijā kopumā, 20% iedzīvotāju atbalsta alternatīvās enerģijas pieaugumu.
  16. Izmantojot Auces pilsētu kā **bioenerģijas ciemata** modelēšanas piemēru, konstatēts, ka bioenerģijas ciemats **nodrošinās  $1 \text{ 792.74 t CO}_{2\text{eq}}$  SEG emisiju ietaupījumu gadā**, kā arī **nacionālā līmenī tiks ietaupīti  $199 \text{ 060.69 Ls}$** , kas pretējā gadījumā būtu jāiztērē par importētiem resursiem.
  17. Attiecinot *Auces* **bioenerģijas ciemata** modeli uz **24 Latvijas mazpilsētām**, kurās ir dabas gāzes infrastruktūra, **tiktu ietaupīts  $44 \text{ 463 t CO}_{2\text{eq}}$  jeb  $0.62\%$  no enerģētikas sektora SEG emisijām**. Bioenerģijas ciemati šajās mazpilsētas **radītu  $1.62\%$  atjaunojamo energoresursu**

**Īpatsvara pieaugumu** primāro resursu īpatsvarā. Bioenerģijas ciemati samazinātu importēto enerģijas un minerālmēslu vērtību par 8 282 353 Ls. **Lauksaimniecībā izmantojamās zemes apjoms**, kas saistīts ar substrāta audzēšanu enerģijas ražošanai, nepieciešamais **LIZ apjoms** būs **3 293 ha jeb 2.12% no neizmantotā LIZ**. Kopumā ieviešot bioenerģijas modeli 24 Latvijas mazpilsētās, radītie vides un ekonomikas efekti pozitīvi ietekmētu vietējās mazpilsētas, bet nacionālā līmenī izmaiņas būtu nelielas.

18. Ņemot vērā iepriekšminētos secinājumus, promocijas **darba hipotēze** – alternatīvās enerģijas (biogāzes) ražošana pozitīvi ietekmē lauksaimniecības produktu ražotāju resursu apriti, kā arī atstāj labvēlīgu ietekmi uz vidi un samazina enerģijas importu – **ir apstiprināta**. Alternatīvā enerģija labvēlīgi ietekmē enerģijas ražošanas bilanci, samazina SEG emisiju apjomus, salīdzinot ar fosilām alternatīvām, palielina lauksaimniecības produktu un ražošanas atlikumu aprites ciklu, samazina nepieciešamību pēc enerģijas un minerālmēslu importa.

## PROBLĒMAS UN TO RISINĀJUMI

**1. problēma: Negatīvo ārējo efektu radītās izmaksas pilnībā netiek iekļautas fosilo resursu izmantošanā, tas rada negodīgus priekšnosacījumus alternatīvo enerģijas resursu cenu veidošanās politikā valstī, īpaši attiecībā uz atjaunojamo resursu izmantošanu.**

*Priekšlikumi problēmas risināšanai:*

1. Ekonomikas ministrijai jāatbalsta ANO centieni panākt pārnacionālu vienošanos par radīto negatīvo vides ārējo efektu samazināšanu, lai izveidotu vienotu ārējo efektu kompensēšanas mehānismu, kas spētu nomainīt Kioto protokolu.
2. Nacionālajā enerģētikas politikā iekļaut atbalstu (nodrošinot iespēju izmantot pārvades tīklus, kvalificējoties finansiālā atbalsta saņemšanai) vietējām iniciatīvām negatīvo ārējo efektu novēršanai, tostarp – bioenerģijas ciematu izveidē un mājsaimniecību līdzdalībā alternatīvās enerģijas izmantošanā.
3. Ekonomikas ministrijai jāaizliedz valsts finanšu atbalsta saņemšanai kvalificēties uzņēmējiem, kuri enerģijas ieguvei izmanto fosilos resursus, tas pieļaujams tikai bāzes jaudu veidošanas gadījumos.



**2. problēma: Biogāzes koģenerācijas stacijās, kurās kā substrātu izmanto lauksaimniecības produktus, saražotā elektroenerģija ir dārgāka, salīdzinot ar vidējo tirgus cenu Latvijā, tas traucē šīs enerģijas plašāku izmantošanu bez īpašiem atbalsta veidiem.**

*Priekšlikumi problēmas risināšanai:*

1. LLU institūcijām jāturpina pētījumi par esošo enerģētisko kultūraugu audzēšanas intensifikāciju un jaunu augstzaļgāku kultūraugu šķirņu ieviešanu, kā arī to piemērotību dažāda tipa augsnēs Latvijā.
2. Zemkopības un Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrijai veicināt lopkopības bioloģiski noārdāmo substrātu pārstrādi biogāzē, ievērojot transportēšanas, vides un ekonomiskos ierobežojumus.
3. Nepieciešams turpināt pētījumus lauksaimniecības zinātnē, kas ļautu precīzi noteikt ar digestāta izmantošanu saistītās izmaiņas augsnes barības vielu saturā un to ietekmi uz vidi ilgtermiņā, kas ļautu precīzāk noteikt maksimāli pieļaujamās digestāta izmantošanas apjomus uz zemes vienību, kā arī precīzēt aprēķina metodiku digestāta izmantošanā.
4. Zemkopības un Ekonomikas ministriju institūcijām izveidot vienotu datu bāzi, par biogāzes izmantošanu raksturojošiem lielumiem: jaudas noslodzi, izmantojamo substrātu, nodarbināto cilvēku skaitu u.c.

**3. problēma: Bioenerģijas ciemati labvēlīgi ietekmē lauksaimniecisko ražošanu, teritoriju ilgtspējīgu attīstību, tomēr biogāzes koģenerācijas teorētiskais siltumenerģijas izmantošanas potenciāls ir lielāks nekā iespējams izmantot mazpilsētu iedzīvotāju mājokļu apsildē.**

*Priekšlikumi problēmas risināšanai:*

1. Pašvaldībām jāveicina bioenerģijas ciematu izveidi savā teritorijā, nepieciešams: analizēt resursus, enerģijas apjoma pieprasījumu un piedāvājumu, apzināt dalībniekus, informēt par šādām iespējām sabiedrību un uzņēmējus.
2. Republikas nozīmes pilsētām jāizstrādā kombinēti enerģijas apgādes varianti, kuros daļa elektroenerģijas un daļa siltumenerģijas tiek nodrošināta ar atjaunojamiem resursiem.
3. Ekonomikas un Zemkopības ministrijām jāizveido grantu sistēma, kas veicinātu siltumapgādes uzņēmumu, tostarp biogāzes koģenerācijas staciju īpašnieku, un pašvaldību ieinteresētību kopīgu enerģijas apgādes projektu veidošanā.
4. Ekonomikas ministrijai siltuma izmantošanu veicināt ar elektroenerģijas obligātā iepirkuma tarifa mehānismu – nosakot atbalsta tarifa lielumu tā, ka siltuma saimnieciskā izmantošana ir objektīva nepieciešamība.
5. LLU turpināt pētījumus par biogāzes koģenerācijas siltuma izmantošanas iespējām komerciālos nolūkos, piemēram, siltumnīcas, zivju baseini u.c.

## INTRODUCTION

Such challenges of society as: population growth, depletion of fossil resources, high mutual dependence of the economies of the countries, very fast and poorly controlled capital mobility, as well as, negative influence of the anthropogenic on the environment are to be mentioned due to the theme of the Ph.D. thesis. In general, all these factors are connected to a threat to a sustainable development, which is – development that provides meeting of today's needs without creating threats to meet the needs of the next generations.

Recognition that the market is incomplete and creates externalities finds support in essentially all schools of economics, regardless of the basic assumption set of the science of economics. Nobel laureate in economics Joseph Stiglitz (2006) points out that the market creates too little positive externalities because private producers are not being fully rewarded for that. There are, as well, too many possibilities in the market to create negative externalities, because the producer does not have to take a full responsibility for the damage to others. In both cases, the market does not reach the efficiency of overall resources. Prevention of the negative external effects is one of the tasks of the society, because the market system is not always capable to provide the effective use of the overall resources. Society's ability to provide itself with the resources of energy is one of the fields where the prevention of the externalities especially important.

EU strategy “Europe 2020” anticipates to lower the amount of the gases emissions of the greenhouse effect by 20% in comparison with 1990, to get 20% of the energy from the renewable sources and improve the energy efficiency by 20%. These goals set at the level of EU are agreed with the national goals of the energy development of each member state. Energy policy in Latvia is connected with high fluidity and inefficiency. A new energy policy is being worked out at the moment.

Solutions of today's energy are connected with high complexity that are determined by both variety of the production possibilities, and integrity of the markets, and the changes of the solvency of the society. Relationship of the energy production with other fields is especially vividly seen in the production of the bio gas. The production of the bio gas influences not only the supply and demand of the energy, but also makes a broad impact on the development of the agriculture and regions.

One of the leaders in the field of renewable sources Germany deliberately develops the *Concept of the bioenergy village* where often an integral part is a biogas cogeneration plant. Concept of the bioenergy village is an answer created by a local initiative to the challenges of a sustainable development and prevention of the external effects not only on a local, but also on a national and global level, especially in the field of reduction of GHG. Academician A. Kalniņš has pointed to a necessity to evaluate the possibilities to create the

bioenergy villages in Latvia. A special part in the Ph.D. thesis is devoted to the analysis of the production possibilities of the biogas and the possibilities to integrate the biogas cogeneration plants in the energy supply system of the bioenergy village.

Researches of the systems of sustainable energy supplies are complicated and topical, that is why a lot of authors have focused on the analysis of the problems of the energy supply. Problems of external effects or externalities created by the energy have been analyzed by: *D. Streimikiene, R. Pušinaite, I. Roos, J. Reķis, T. Sundquist, A. Markandaya, A. Longo*. The influence of the energy production and consumption on the environment and welfare, as well as, the possible system changes have been analyzed by: *D. Stern, S. Dinda, W.M. Huang, G.W. Lee, J. Mills, T. Waite, E. Magnani, R. Goel, H. Weite, T. Hal, T. Casten, S. Baumgärtner, M. Quaas*. Energy production from biogas agronomic, environmental and economic researches have been made by: *A. Kalniņš, M. Pelše, V. Strīķis, D. Blumberga, I. Dzene, S. Capponi, S. Fazio, L. Barbanti, L. Rodhe, E. Salomon, M. Edstrom, A. Adamovičs, V. Dubrovskis, I. Plūme, T.L. Romanelli, M. Milan, M.E. Weber, A.D. Cuellar, J. Bartusevics, Z. Gaile*, as well as by other authors. The importance of the decentralization of the energy production have been emphasized by: *R.B. Mangoyana, R. Smith, F. Timothy*; the experience of the creation of the bioenergy villages in Germany has been described by: *A. Wüste, P. Schumck, M. Karpenstein-Machen*. 10 year experience of Japan, putting stress on the opportunities of the industrial and urban symbiosis has been described by: *R. Van Berkel, T. Fujita, S. Hashimoto, Y. Geng*. Impressive amount of the researches is connected not only with the wide aspect of the theme, but also with a political order for the environmental, Engineering and economic researches.

The Ph.D. thesis have been developed partly due to EU project „Attraction of human resources to the research of the renewable energy sources”, within which, the author conducted researches and part of which are used in the Ph.D. thesis.

The research is based on **hypothesis** that a production of an alternative energy (biogas) positively influences resource movement of the producers of the agricultural products, as well as, has a beneficial impact on the environment and reduces the import of the energy.

**Object of the research** – alternative energy (biogas), but the **subject of the research** – the production possibilities of the biogas retrieved from the agricultural products.

**The goal of the Ph.D. thesis** resultant from the hypothesis is to evaluate the economic and environmental effects of the production of alternative energy (biogas) retrieved from the agricultural products in the context of the creation of the bioenergy village.

**Main purposes** for achieving the goal:

- 1) find out about the substantiation of the use of alternative energy in the theory of economics;
- 2) analyze the policy of the increased use of the renewable energy sources in the European Union, including Latvia;
- 3) work out simulation model of the biogas production and calculate the economic and environmental effects of the use of biogas;
- 4) determine the use facilities of the biogas, retrieved from the agricultural products, in the development of the bioenergy village.

**Limitations of the Ph.D. thesis** – the case of alternative energy in Economics is analyzed in the theoretical part of the Ph.D. thesis, but the practical research is based on the biogas of renewable energy sources that is retrieved from the agricultural products. Power and heat are analyzed in the work, but transport energy is not analyzed. Economic calculations of the energy plant corn are done for two productivities of the cultivated plants to characterize intensive and less intensive cultivation technologies and to be able to compare them. A special attention in the Ph.D. thesis is paid to the sustainable development influencing factors of the biogas production, other energy resources are used to compare the achieved results.

Following **research methods** used to complete the tasks of the work:

- common scientific: logical-constructive method, monographic, method of analysis and synthesis, inductive and deductive method;
- statistical research methods: descriptive statistics, regression analysis, time series analysis etc.;
- mathematical modelling methods: optimization problem;
- other research methods: sociological survey, interview.

Following **sources of information** are used to complete the research:

- scientific publications and scientifically practical information for theoretical, social, environmental and economic interaction aspects of energy and economics;
- EU directives and regulations, as well as, laws of Republic of Latvia and regulations of the Cabinet of Ministry, other political documents about energy sector;
- Eurostat, available information from the statistical data bases of the Central Statistical Bureau of LR;
- published information from EC, Ministries of Agriculture, Economics and Environment and Regional Development, and other institutions;
- survey of households in Auce about renewable energy sources and capacity support;
- commercial of Latvian enterprises about the prices of energy and its resources, agricultural services and fertilizer;
- other resources that are stated in the list.

### **Research novelties**

- 1) definition of the alternative energy has been supplemented, emphasizing the conformity of the energy use to a sustainable development of the region;
- 2) got evaluation on the scientists', agricultural specialists' and practitioners' suggested energy crops as a substratum of the extraction of the raw material of the biogas, economic affect determined;
- 3) optimization model of the biogas substratum mixture is developed and mathematical simulation of the biogas production is performed, getting the evaluation of the economic and environmental effects;
- 4) determined the market value of the elements of the digestate feed, influence of the digestate use on the reduction of costs and GHG;
- 5) support from the society to the wider use of production of the alternative energy in Auce is determined;
- 6) Auce town based energy production model of the biogas village is developed, which is generalized to 24 towns of Latvia that have an access to the natural gas infrastructure.

### **Scientific contribution**

The Ph.D. thesis supplements economic scientific researches in Latvia in the field of alternative energy resources, especially, in the use of biogas in the extraction of power and heat. The use of the term of alternative energy is being specified within the work frames. A mathematical simulation model of the biogas production has been worked out and calculations to evaluate economic and environmental effects of this process have been done. Real town based bio energy village model has been created for the first time in Latvia, which was evaluated referring to 24 towns of Latvia with natural gas infrastructure.

### **Contribution of Economics**

Ph.D. studies can be used for: biogas plants that use agricultural products as substratum, when doing calculations: to determine the optimal mixture of the substratum, energy balance, necessary land resources and the import substitution value; to determine: environmental effects, GHG emissions and the benefits from replacing the fossil fertilizers with digestate. There is a calculation system worked out in the Ph.D. thesis to determine the market value of the digestate, as well as, to calculate the necessary amount of the digestate; to evaluate the energy crops both from the energy potential, and the economic point of view. Done calculations in the model of the bioenergy village can be used to create such villages in Latvia.

### **Thesis of defence**

- 1) the use of alternative energy is a successful instrument to reduce the external effects (externalities);
- 2) Latvia is taking part in achieving the common goals of renewable energy of the EU, however, the promotion policy of the renewable sources in Latvia is basically stopped at the moment;

- 3) biogas that is retrieved from the agricultural products positively affects the balance of the energy production and the environment;
- 4) creation of bioenergy villages will create efficiencies to farmers and the society.

## **1. PRODUCTION INTERACTION OF ECONOMY AND ENERGY**

*The content of the chapter 25 pages of the work, with 3 tables and 7 images.*

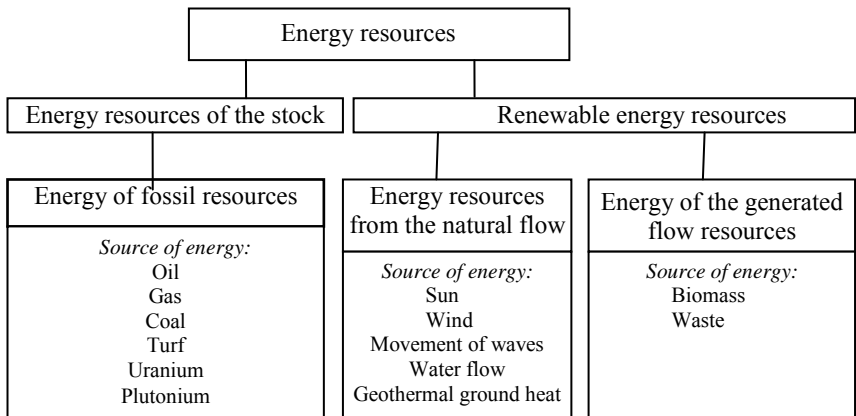
In the theoretical part of the Ph.D. thesis, the author analyzes the cyclic of the energy production and the replacement of the leading resources to a new alternative resource, these questions have been viewed from the theory of economics point of view. External effects or externalities of the energy production are essential at the evaluation of the resources of alternative energy.

Inclusion of the external effects in the market system is a theoretical ground to look at the energy production outside the scale economies frames, there is a ground for a sustainable development. Concept of the bioenergy village is analyzed in the sequel of the chapter, which includes the elimination of the negative external effects of the energy, at the same time, promoting the development of the surrounding territories.

### **1.1. Development of the usage of the types of energy resources and the cost share**

Alternative energy is not a synonymous with the concept of the renewable sources, but is their inclusive concept. If renewable sources indicate their ability to naturally regenerate or to their inexhaustibility, then the concept of the alternative energy is based on the deliberate sustainable choice of the local community. The author of the Ph.D. thesis suggests the following definition: **alternative energy – energy that is not conventional in its use and includes evaluation of the economic, social, environmental gain and loss of the society at a particular region and moment of technological development.**

The greatest consensus is about the division of the primary energy resources by the ways of their accumulation. Resources of the fossil energy are remnants of the fossil accumulating for millions of years, that is why, objectively they cannot be unlimited. Limitedness of the fossil energy often is the most important factor that makes to review the possible alternatives for the benefit of the resources whose exhaustion is impossible, or, so called, renewable sources (flow energy sources), division of the primary resources schematically shown in fig. 1.



Source: author's construction

Figure 1. **The division of the types of energy resources into stock and flow energy.**

Types of flow energy are mostly associated with the renewable energy: energy that does not depend on the resource stock on the planet – wind energy, solar energy, wind energy, water energy, geometrical energy, as well as, energy that is obtained from biomass and waste. The last two types are characterized by a higher level of certainty but limited amount of use at a particular time point.

Biomass energy has comparatively high fixed costs and, as well, high variable costs, extraction of this type of energy resources can be characterized by that – primary production, agriculture and forestry. The lowest investment costs are specific to the use of natural gas to obtain the power, but the highest costs are in the use of wind and hydro resources.

## 1.2. Externalities of energy production

In the field of dividing resources the market system is incomplete and one of the imperfections are not included in the price, but during the production process created externalities. Theory of economics distinguishes both positive and negative externalities that are necessary to be included in the market system to reach the Pareto efficiency. Concept of externalities has a long history, started by Alfred Marshall's ideas (*Alfred Marshall, 1890*) about internal and external economy in the production of the enterprise that transforms into the private welfare, which Pigou included in the economy of welfare and it developed further and transformed into various directions. Today different concepts of externalities are found. In general, theory of the externalities is based on normative views (Baumgärtner, Quaas, 2010). From the point of view of the theory of economics, external factors indicate to an imperfection of the market.

Improvement of the market system, including externalities and compensatory costs into it is complicated, because connected to limitedly defined property rights and practical realization of these rights.

Mostly it is about public property and public gains and losses created by its use. In connection to energy production, negative externalities are more common that are connected with emission production of GHG, which influences the global climate creating losses to the society. The amount of costs of the externalities can be calculated and it has been done in several researches, where it has been stated, that renewable sources create less negative externalities.

### **1.3. Development of economic and regional externalities**

Externalities of scale economies and clusters appear because of the enterprise being at a particular place. Marshall and Weber's ideas were brought back to life in a fundamental work of Krugman and Fuhita "New Economic Geography". The main idea of this work is about the meaning of clusters of the location to reduce the costs by one unit. Inclusion of the damage to the environment to the market system or reduction of the pressure to the environment created by the economic development has employed the minds of economic researchers for a very long time already. Kuznet's hypothesis that by the increase of the income level of the citizens, inequality of the income increases, but, by reaching a particular point, inequality decreases, which graphically is like an overturned U type curve. If Environmental curve of Kuznet would be confirmed, economy of capitalism would decrease the negative impact to the environment itself. However, practically the economies are very reluctant to incorporate the negative externalities of the environment into their systems that is why; there are basically no prerequisites for this hypothesis to be confirmed. Economic growth is not a cause, but a prerequisite for reducing the negative impact of the environment (Mills, Waite, 2009). Elizabeth Magnani (2001) states: theoretically it can be accepted that parallel to income, by increasing elasticity for environmental quality, positive connection between economic growth and environmental quality will form. Thus, experiential researches do not allow to clearly state that the growth is automatically connected to the improvement of GDP and the environment, pointing to the important role of the policy-makers that influence the behavior of consumers and the demand for the environmental improvement.

### **1.4. Conception of the establishment of the bioenergy villages to reduce negative externalities in the energy supply and the participation of the society**

Other way of removing the negative externalities is connected with initiative of the local society to use integrated solutions, including sustainable

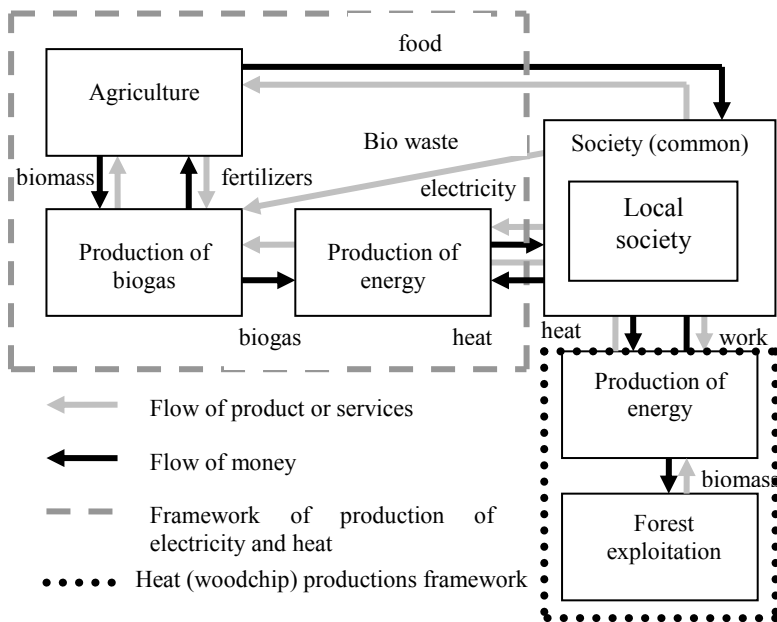


criteria and improving the quality of life. Practical examples are related to development of so-called bioenergy villages. By integrating agricultural production, forestry and energy production in a single system beneficial sustainable development can be achieved for the field and the society. Ensuring own energy needs with the local resources, more wholesome use of the resources is being achieved, emissions connected to the GHG of the transport are being saved, actions of the local enterprises are stabilized, as well as, other benefits gained. An important role in the development of the bioenergy villages has the production of biogas. However, every region has a possibility to work out their own combination of the energy types that can be considered as an alternative energy of the region.

Sustainable development of the 21<sup>st</sup> century city is not possible without the analyses of the GHG emissions and energy resources (Kennedy et al., 2011). Quite proactive is the idea of the creation of the bioenergy villages, which, in the essence, is the development result of the metabolic ideas of the city, thus, not as radical as an idea about the eco village, which, in author's opinion, is confined to a religious community, because it anticipates also a united spiritually cultural space.

*Bioenergy villages are populated territories, where the energy needs are met with the local alternative energy resources of biomass, improving the economic, environmental and agricultural sustainability of the local community.*

Academician A.Kalniņš, expert of the renewable energy, admits that it is economically justified to promote the creation of the bioenergy villages in Latvia, because renewable energy sources are varied and are not used enough (Kalniņš, 2012). Bio villages use not only available resources in their villages, but also the produced output and residues of the nearest farms and other agricultural enterprises. One could say that the aim of the bio village is to provide a successful symbiosis of agriculture, energy production and the local society.



Source: author's construction based on Tsvetkova, Gustafsson, 2012

Figure 2. **Conception of the energy supply for a biovillage.**

Kalniņš and his colleagues, based on the results of system dynamic modelling, state that to achieve the agricultural employees' income till the average of EU, using only primary production, is not possible (Kalniņš et al., 2009). That is why the creation of the bioenergy village can be the way how to increase the formation of the value added in the agriculture, influencing also the income of the rural residents.

### 1.5. The land use dilemma for the production of the alternative energy

Energy production from the agricultural products is not a traditional activity in the field of agriculture that is why; there are doubts about the effects created by the change of the land resource use. The primary function for an agricultural land is to produce food. The author of the Ph.D. thesis in this chapter, using the regression method, does the calculations to evaluate the use efficiency of the agricultural land in relation to the production of energy plants and food raw materials and draws a conclusion that the efficiency depends on the product type, and that energy production can be easily combined with food production. Society benefits from energy and grain production are higher than from energy production and livestock, that is why, energy production from the products of agricultural origin cannot be the reason for insufficient supply of food.

## **2. EU POLITICY IN THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES**

*The content of the chapter occupies 19 pages in the work, with 5 tables and 7 images.*

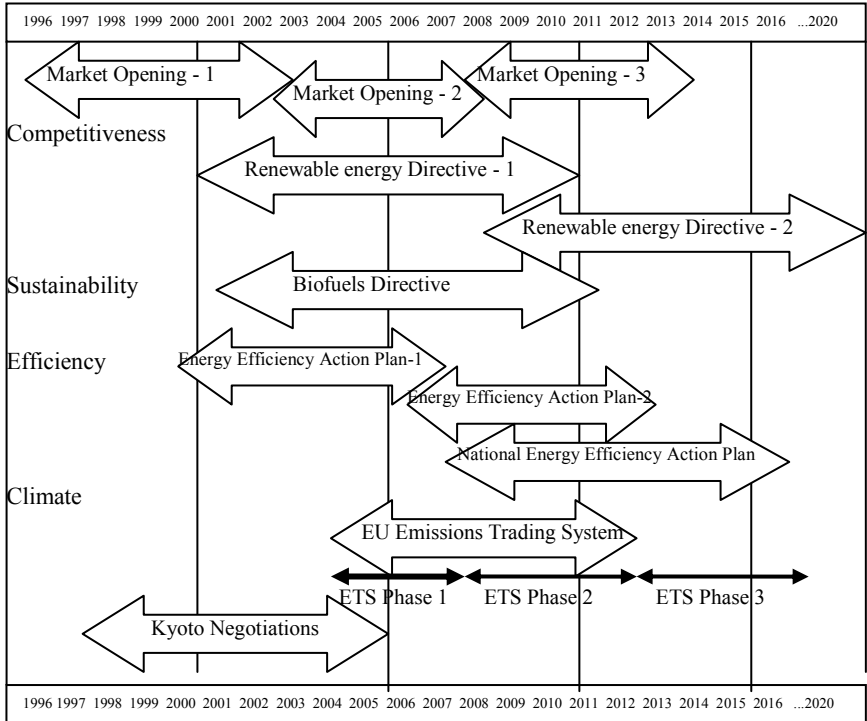
Chapter 2 of the Ph.D. thesis is devoted to the analysis of the energy policy of the EU, which determines the practical solutions of removal or compensation of the negative externalities of the energy in economics. Strategic objectives and basic directives of the energy policy of the EU are market in the chapter, that are largely directed to more integrated and proactive progress of the member states to a sustainable sector of energy, putting forward the EU as a world leader in this field with a common and more integrated energy market. However, every member state has the energy policy in its own terms that is why, to reach a common goal; member states choose different ways of achieving the goal. Regulatory framework and support programs of the use of renewable energy sources are analyzed in the chapter. To mark the performance indicators of the energy policy, statistics that acknowledge the progress of the use of renewable energy sources in the EU, including Latvia, are included in the chapter.

### **2.1. Political framework to the wider use of renewable energy sources**

#### **2.1.1. The strategic objectives and basic directives**

Energy policy of the EU in general is diverted to a sustainable energy objective that first was determined in 1995 in the White book about the energy policy of the European Union (An Energy Policy..., 1995). It was followed by a Green book about the European Union strategy towards safe energy supply (Towards a European strategy..., 2000) and also by a report (Final report on the..., 2002), that anticipated to reach 12% share of renewable energy in the energy balance of the EU.

Energy policy of the European Union can be viewed from four viewpoints: competition, sustainability, efficiency and climate changes. The key documents of the EU policies on each of these elements are included in Image 3, duration of these documents is also indicated. There are 3 stages allocated to the liberalization of the market of energy of the EU: 1996-2003, 2003-2008 and 2008-2014. Two renewable energy directives are established. These documents are mostly related to promotion of competitiveness. Large emphasis in the energy policy of the EU is placed on sustainability and efficiency.



Source: Panorama of Energy, 2009

Figure 3. Development of the European Union energy policies over time.

Real promote-documents to the sustainable development in the international space, at the same time, also growth contributory for the use of renewable energy sources, is the Kyoto protocol accepted in 10997 (UNFCCC), which anticipates the reduction of the greenhouse gas emission level for 5% in comparison to 1990 to all the industrial countries (The Kyoto protocol..., n.d.).

In January 23, 2008, European Commission came out with an ambitious proposal package to reduce the Climate change: Energy for a changing world (*Climate Action: Energy for a Changing World*), whose goal is to fight against the climate changes and to promote the use of renewable energy under the liabilities of the EU. Proposals anticipate the reduction of the greenhouse gas emissions by 20%, increase energy efficiency by 20% and increase the use of renewable energy by 20% from the total consumption of energy.

Achievable goals in the share of renewable energy from the total consumption of the energy for EU member states, including Latvia, are stated in the Directive 2009/28/EK and are an important part of the energy policy of the EU. The greatest share of the renewable energy from the total energy balance is for Sweden, almost half of all energy, 40% in Latvia, and 38% in

Finland. Essentially, this setting is proportional to already existing use potential of the renewable sources.

Despite the fact that EU promotional policy of renewable energy is based on common principles and common goals, every country, however, chooses own policy promoting events and appropriate instruments, taking into consideration the variety of renewable energy sources, historical development of the countries and other factors. Sovereignty of the EU support policy is clear and acceptable. However, EU goals for uniform energy policy and market create question about united EU level support policy.

### **2.1.2. Market liberalization policy**

Increased use of renewable energy sources would largely ensure the removal of imperfections of the market and would lead to a sustainable economy. Significantly in this matter is to create single energy resource market in the EU. Liberalization of the energy market marks the significance of this matter (see Image 3), where its final stage is planned in 2014.

part of the member states realize the liberalization of the energy market by separating services of the management and distribution operators, generally ensuring efficient market based energy distribution principles. Such separation option has chosen also Latvia, legally separating operator of the system management „High voltage network JSC” and operator of distribution system „Grid JSC”, control is ensured by independent institution – in Latvia it is Public Utilities Commission.

Liberalization of the gas market is delayed in Latvia due to an exclusive license between the Republic of Latvia and “Latvian Gas JSC”, which gives it the rights and duties to carry out the realization of the natural gas in the territory of the Republic of Latvia until February 10, 2017.

EU institutions stress that cross-border links must be continued to develop to ensure the supply of all energy resources for the most competitive price to consumers and the industry in the European Community.

In the context of liberalization of the energy market, a great dependence of separate EU countries from the Russian energy supplies must be market, especially it concerns the Baltic states.

### **2.1.3. Regulatory framework and support programs in Latvia**

The renewable energy source market in Latvia is regulated by the Energy Law and Electricity Market Law, which also sets the minimum achievable rate of the renewable energy sources from the produced energy in the gross consumption to 40% in 2020, in accordance to the Directive 2009/28. However, essentially, the policy of renewable energy sources is regulated by the CM regulations No. 262, adopted in March 16, 2010 „Regulations on energy production using renewable energy sources, and the procedure of the price

determination". They state the order how businessman can qualify to sell the power in the mandatory procurement, as well as, states the formula, after which the feed-in tariff for power that is produced with renewable sources must be calculated. At the same time, the producer who uses renewable energy sources for cogeneration processes can qualify to realize the power in the mandatory procurement, in accordance with CM regulations No. 221, March 10, 2009 "Regulations on the power production and pricing when producing the power in cogeneration". Basically, renewable power producer can qualify for the mandatory procurement under one of these regulations of the Cabinet.

The fundamental difference is that CM regulations No. 221 regulate the amount of the efficiently usable heat, whereas in the CM regulations No. 262, the use of heat is not compulsory. Especially significant it is to biogas cogeneration plants, as acknowledges the rapid growth of them in Latvia, especially plants with biogas obtained from agricultural resources.

Another difference is that CM regulations No. 262 impose to produce the amount of compulsory procurement of the energy, but regulations No. 221 does not impose such requirement. As a result, several businessmen were forced to change the mentioned plant capacities in the submitted projects in the contest.

In the bill of the renewable energy, which is being discussed for many years in the political level, but still has not been established, restriction of the amount of produced energy is no longer being anticipated. It is planned that the price of renewable energy will be set by the market price and the premiums. However, the author of the Ph.D. thesis doubts the energy producers' ability to act in a free power market, for example, *NordPool*, it still requires some additional costs that are related to trade analysis and realization.

Currently in force CM regulations No. 262 and compulsory feed-in tariffs of the power stated in them, by the expert point of view, are relatively high, they mark, that changes in the support system are needed. Thus, the new bill of the renewable energy sources does not satisfy energy producers, as well as, public dealers - „Latvenergo JSC”.

The bill provides only indicative targets relating to heat production and transport energy from the renewable energy sources. Stated obligation to efficiently use at least 50% from the produced, unutilized in home consumption, should be positively assessed, what could be event hard to control.

Together with these types of support, there are significant investment programs allocated for completion the EU energy policy in Latvia that are administrated by the ministries of Economics, Environment and Regional Development, as well as, the ministry of Agriculture. An important condition for investments are the list of criteria created by the ministries according to own monitoring area for the producers of renewable energy. Although, each ministry tries to put the stress on the criteria that correspond to its specific areas and vision about them, basically, the requirements are quite formal. It is quite

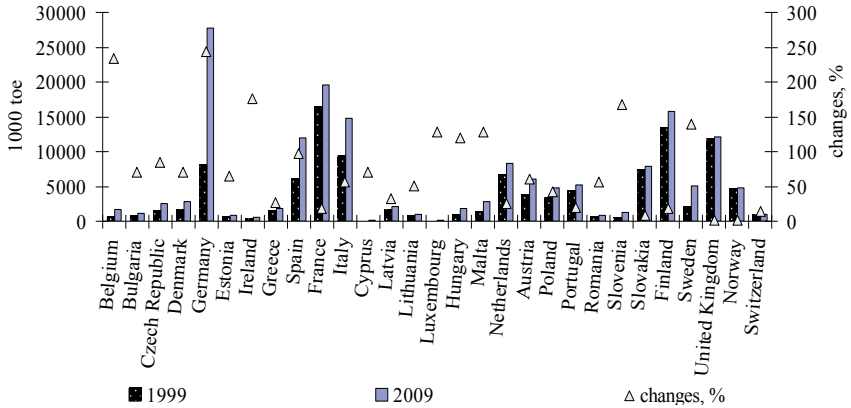
easy to work out criteria for wind or solar use, opposite is with biomass use for the biogas production. It is connected with specific requirements of the production.

The complexity of renewable energy sources has not turned into restrictions of support policy, which, from one side, is positive, because promoted rapid development, from the other side, this rapid development created new opportunities and threats that influence national policy. Doubtless, investment projects are necessary in the implementation stage of new and environmentally friendly technologies, however, solutions for creating a better support system and administration are being searched for already several years. Basically, since May 26, 2011, Ministry of Economics does not organize contests for the rights to sell the produced power from biomass, biogas, the sun or wind in the frames of mandatory procurement, as well as, the rights to receive a guaranteed payment for the installed electrical capacity, but new solutions are being looked for.

## **2.2. Indicators of the use of renewable energy sources**

In the direction of the increase of the share of renewable energy sources in the total energy balance, it must be marked that the consumption of the renewable energy sources has increased in the EU states, the tendency indicates on the accomplishment of the set strategic targets. The most significant source of the renewable energy sources is biomass, it provides 70% of the total capacity of the renewable energy sources and it has the most rapid tendency of growth. Water power is the second most significant source of renewable energy sources, its share in the last years is decreasing though. Wind and Geometric energy still gives small input, although, looking in absolute terms, its amount is rapidly increasing (Ilgtspējīga attīstība Eiropas..., b.g.).

Evaluating in absolute figures, capacity of renewable energy have increased more than twice since the beginning of the nineties, in 1990, in the group of 15 EU states, the consumption of the renewable energy was 65 085 000 toe (oil equivalent units) and 72 487 000 toe in the group of 27 EU states, but in 2008 these indexes were already 130 252 000 toe in the group of 15 and 151 047 000 toe in the group of 27 EU states. To be able to better evaluate the progress of states in achieving the fixed targets of renewable energy in the Kyoto protocol, it is necessary to evaluate the potential changes of the produced renewable energy. The information about the changes in the 10 year cycle (1999-2009) is included in figure 4.



Source: author's construction based on Eurostat, n.d.

Figure 4. **Capacity changes of the produced renewable energy in 1999-2009 in the European Community countries.**

The greatest increase in the capacity of the produced renewable energy was in Germany by 243% and in Belgium by 233%, but the lowest increase was in Switzerland and Norway, which are not EU member states, but who have tight economic links with EU. Progress of achieving the targets of EU policy varies from country to country.

Capacity of produced power from renewable sources in Latvia in the last ten years have been changing – around 3000 GWh, results are collected in Table 1. Largely, this capacity has been influenced and will be influenced for many years by large hydropower plants, at the same time; the input of the plants of other types has been quite negligible. It can be said that the potential of small hydropower plants is maxed out, because the produced capacity of the power from them has not vastly increased. Growth potential is visible specifically in the use of biogas and biomass in the power extraction.

Amount of Biogas power plants from 2003 has gradually increased, the power of the produced power especially increased in 2011 – by 50 GWh in comparison with the previous year, which is almost double. It must be taken into account here that by introducing such support policy, its results statistically will be visible only after 3 to 5 years. It is the time needed for learning the experience, installation, identification and extraction of resources, as well as, for carrying out administrative procedures.



Table 1

**From renewable sources produced electricity in Latvia in 2003-2011, GWh**

<b>Type of production</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
Hydropower plants	2266	3109	3325	2698	2733	3109	3457	3520	2887
...<1 MW	49	64	57	36	63	64	60	69	57
... 1MW<= el.power<=10 MW	5	6	5	4	6	6	6	6	4
...>10 MW	2212	3040	3263	2659	2665	3038	3391	3445	2826
Wind power	48	49	47	46	53	59	50	49	71
Biomass power plants	6	6	6	7	5	5	4	9	13
Biogas power plants	18	32	36	36	37	40	44	57	107
<b>Total</b>	<b>2339</b>	<b>3196</b>	<b>3414</b>	<b>2787</b>	<b>2828</b>	<b>3213</b>	<b>3555</b>	<b>3635</b>	<b>3078</b>

Source: *Latvian statistics, n.d.*

Existing policies of Latvia have tried as possible to ensure the price stability of the energy resources. Latvia has the second lowest energy taxes in EU.

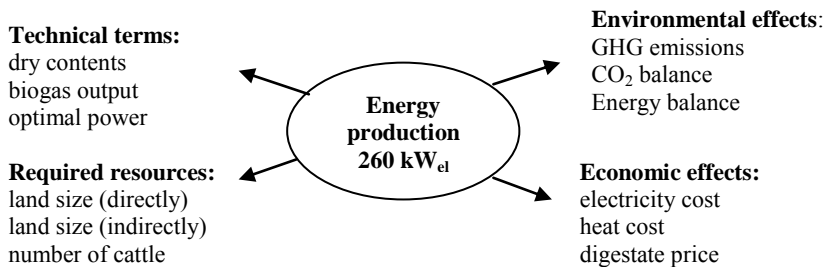
So, together with a wider use of renewable energy sources and the creation of the financial support system of these resources, it is significant to find out, if, by introducing the types of alternative energy, they can compete with existing ones, and if society is capable of paying for the use of these resources.

Renewable energy, regardless of the support system to promote the renewable energy, will inevitably influence households as final consumers. Policy-makers in Latvia must be able to balance to goals with opposite effects. From the one hand, external effects created by the use of fossil resources must be included in the market system, promoting the use of renewable sources at the same time, and partly, in a short term view, subsidizing its use for the energy production, increasing the price and reducing the demand as a result. From the other hand, households must be taken care of, so that the costs of external effects of the energy would not put too much pressure on the household budgets that could create negative external effects in other sectors, for example, in the health care. Economic crisis in Latvia had a significant impact on the support policy for the renewable energy, because, assuming that economy would continue to develop, changing the support policy for the renewable sources would not be socially so important.

### 3. EVALUATION OF BIOGAS PRODUCTION

*The chapter comprises 48 pages, including 15 tables and 16 figures.*

In the third chapter of the Ph.D. theses, the author studies the production of energy from biogas which is obtained from agricultural produce. A simulation model of biogas production has been developed and respective mathematical calculations performed to evaluate the economic and environmental effects. The main task of the analysed model is to produce biogas from which the obtained energy within the process of cogeneration is the realisable product. Included in the chapter quantitative values have been calculated according to the technical, economic and legislative terms of Latvia. However, calculations can also contain deviations which allow the evaluation of biogas production under different conditions of production. The obtained values initially have been calculated presuming that mineral fertilizers are utterly used, but the effect of the usage of extra digestate is analysed in the last subchapter of this chapter. The chapter includes the calculations of the model; the principal scheme is shown in Figure 5.



*Source: author's construction based on Nakata, 2004*

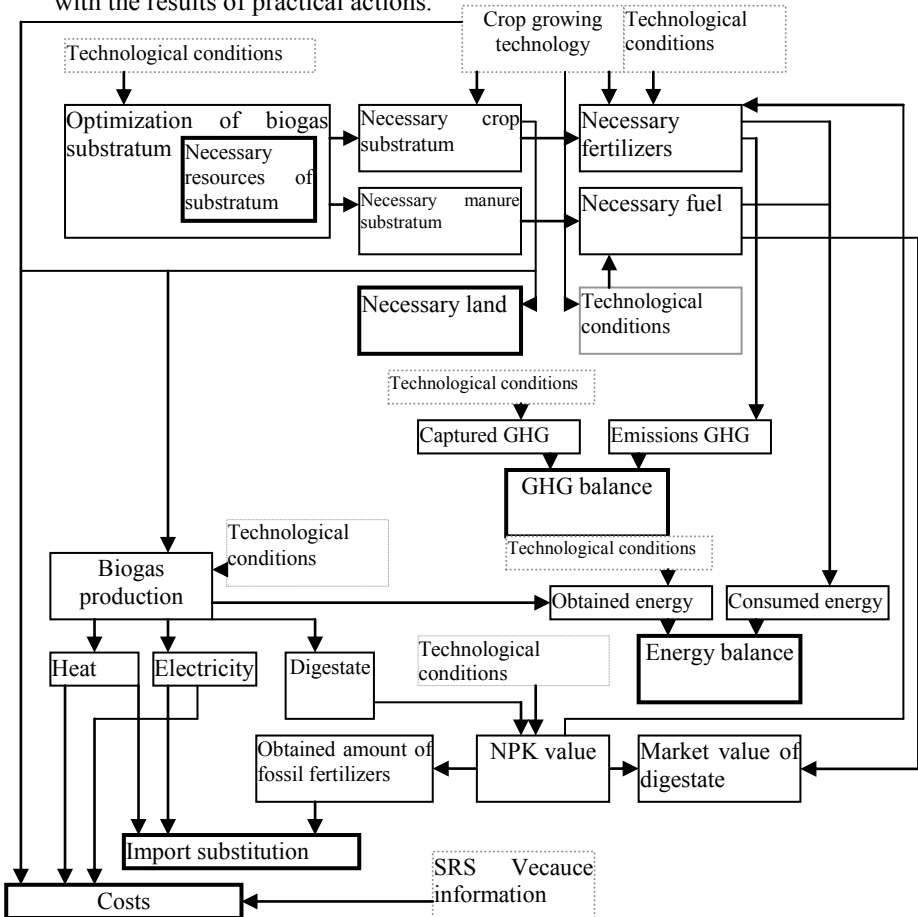
**Figure 5. Principal scheme of the evaluation model of biogas production.**

The evaluation model of biogas production showed in Figure 5 foresees the production of energy of 260 kW within the process of cogeneration. This parameter can change according to the installed biogas equipment. The author analyses the agricultural substratum of different origin, its usage efficiency in biogas production, mainly following the costs of substratum preparation.

#### 3.1. Simulation model of biogas production

For the present, it is not possible to obtain complete evaluation of biogas production in Latvia as this field is comparatively new and little studied. With missing statistical data, it is important to obtain reliable information that would allow evaluating the possibilities of biogas production in agriculture, power industry and development of regions. Basically, the production model is

production function that includes the production of agricultural produce (substratum preparation), production of biogas, cogeneration process resulting in obtaining and realisation of electricity and heat. Along with this process, the processed substratum or digestate is created that can be returned into the production cycle as fertilizer. The model is approximated to the biogas production model of the Research and Training Farm of Latvia University of Agriculture “Vecauce”, which ensures the conformity of the calculated values with the results of practical actions.



Source: author's construction

Figure 6. Flow chart of the calculations of the simulation model of biogas production.

The basis of the model is the land where cultivated plants for three industries are grown: for energy production, for cattle breeding and crop farming. The model foresees three relative production circles that integrate in

joint relatively closed system through energy production or, in particular, through the preparation of substratum. The first circle is biogas production resulting in biogas realisation or continues in the process of cogeneration obtaining the produce for realisation (electricity and heat). The circle is completed by the usage of digestate for soil fertilization. The second circle is the production of cattle breeding produce. The gain from the realisation of milk and meat is not calculated within the framework of the model as it is supposed that cattle breeding and energy production do not substantially compete but supplement with each other. The conjunctive element is cultivated plants that can be used in cattle breeding as well as in energy production; but the usage of manure in biogas production is considered to be the vindictive factor of ecology in agricultural sectors. A contrary situation is in the production of crop farming where, depending on the prices of products, an inner competition among agricultural subsectors can develop thus leading to the additional demand for land. The flow chart of the calculations of the production model of biogas energy is showed in Figure 6.

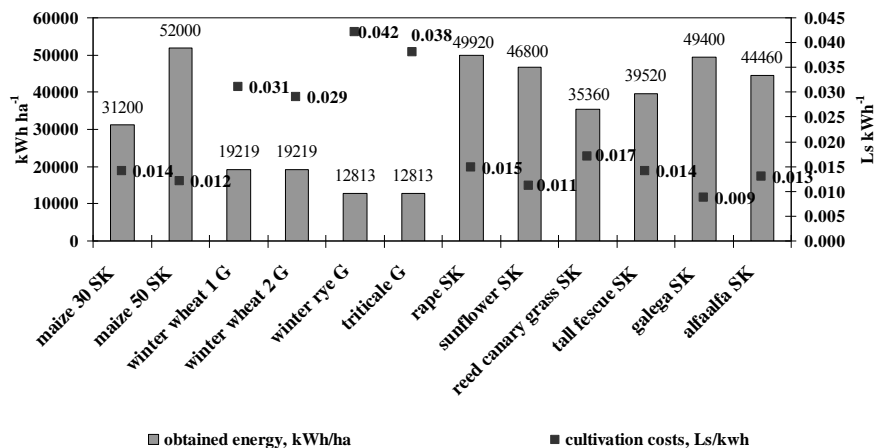
An optimal composition of substratum, which is obtained by developing an optimisation problem, serves as a basis for simulation model. The types of substratum determine the size of necessary land, technologies, obtained/consumed amount of energy, value of import substitution, as well as the extent of produced GHG emissions. The value of import substitution is composed of the extent of saved fossil fertilizers that is compensated by the usage of fermented substratum – digestate in fertilization of cultivated plants; therefore, it is important to determine the market value of the digestate. Besides, the savings from import result from the usage of local resources that does not demand the import of energy resources.

### **3.1.1. Costs modelling of energy crop cultivation**

Relatively broad spectrum of biomass can be chosen as raw material for energy production. Determining the optimal composition of substratum, the author of the Ph.D. thesis includes in calculations the surplus of cattle breeding – manure, as well as different energy crops. The necessary calculations of the substratum of crop farming in the simulation model are based on the calculations of cultivation costs considering the evaluation of scientists and practitioners about possible productivity under fixed technological maps. The author of the Ph.D. Thesis substantiates such an approach by the factor that plant productivity is hard to model; it can be influenced by climate conditions, time of sowing, and time of harvest. Within the research the productivity is assumed in accordance with the evaluation of scientists (A. Adamoviča) and farmers.

The comparison of energy crop cultivation on the output of green mass is only a conditional transition period in order to evaluate the advantages of comparative costs. The output of dry content, gain of biogas from dry content

and the content of methane in dry content should be considered. However, in order to compare the energy value of crop, the cognitions from the papers of A. Kalniņš, J. Murphy, as well as Z. Gaile, J. Bartuseviča, V. Dubrovskā and other scientists are applied. As a result, the comparative figure has been developed where the author of the thesis shows the theoretical energy gain from one hectare of the calculated energy potential of energy crops and the value of this one energy unit in lats (see Figure 7).



Notes: 30 and 50 – productivity of green mass, SK – silage, G – silage, 1 and 2 – cultivation technologies  
 Source: *author's calculations*

Figure 7. Gained energy potential and its costs for different energy crops in Latvia, kWh ha<sup>-1</sup>; LVL kWh<sup>-1</sup>.

Despite the high energy value, the usage of maize in biogas production is prevented by comparatively high energy unit costs from 0.029 LVL kWh<sup>-1</sup> for winter wheat up to 0.042 LVL kWh<sup>-1</sup> for winter rye, as well as low theoretical energy output from hectare – 12 up to 19 thousand kWh ha<sup>-1</sup> (see Figure 7). At the productivity 50 t ha<sup>-1</sup> the maize has an excellent total energy gain 52 thousand kWh ha<sup>-1</sup> at a low energy unit price – 0.012 LVL kWh<sub>teor</sub><sup>-1</sup>. Confirming the importance of corn productivity, the energy gain at the productivity 50 t ha<sup>-1</sup> is much lower - 31 thousand kWh ha<sup>-1</sup>, which can be compared with the indicators of perennials, but the energy unit costs are higher 0.014 LVL kWh<sub>teor</sub><sup>-1</sup>.

While the perennials showed in Figure 7 as well as sunflowers are distinguished by the high theoretical potential of energy gain from 1 ha, it reaches 49.9 thousand kWh for galega, and 46.8 thousand kWh for sunflowers. This indicator is also high for rape 49.9 thousand kWh if it is used as the plant of green mass. But if we evaluate these plants from the point of view of costs, the cheapest energy can be gained from the energy of galega – 0.009 LVL kWh<sup>-1</sup> and sunflowers - 0.011 LVL kWh<sup>-1</sup>. From all evaluated perennial grasses

the most expensive energy is gained from reed canary grass 0.017 0.017 LVL kWh<sup>-1</sup>.

Evaluating these indicators, three crops can be advanced as the most perspective – maize, galega, sunflower, and also alfalfa. Moreover, the intensive cultivation technology justifies when growing maize and by its realization the harvest of 50 t ha<sup>-1</sup> of green mass can be gained.

### 3.1.2. Fermentation of substratum and production of biogas

Biogas is a gasiform fuel obtained as a result of anaerobic fermentation that consists of 50-70% of methane (CH<sub>4</sub>), 30-40% of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and other components, for example, N<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S. It is possible to obtain biogas naturally in marshes, peatbogs and landfill sites, as well as applying special yeasts, from manure, sewage, green biomass and rubbish that decomposes biologically. The energy value of the obtained biogas is within the range 5-7 kWh m<sup>-3</sup>.

The different types of substratum of agricultural origin have different indicators that characterize possible output of biogas, content of methane in substratum and dry content; the necessary time for fermentation should be considered. Thus the costs per substratum unit are rather different.

Besides the characteristic features of substratum, choosing the optimal composition of substratum the capacity of biogas fermenter and permissible dry content that are needed to ensure optimal biochemical processes should be considered.

### 3.1.3. Determination of optimal composition of substratum

The process of fermentation in the framework of production unit is limited by various factors that must be considered to obtain the recipe of optimal composition of substratum. The required conditions can be expressed as a system of conditions (1.) and calculated as an optimization task thus obtaining the amount of optimal substratum and proportion of composition.

$$\left\{ \begin{array}{l} a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots a_nx_n = b \\ \frac{e_1x_1 + e_2x_2 + e_3x_3 + \dots e_nx_n}{x_1 + x_2 + x_3} = g \\ x_1 + x_2 + x_3 + \dots x_n = X \end{array} \right. , \quad (1.)$$

- where
- a – energy standard from a type of substratum, kWh t<sup>-1</sup> per day<sup>-1</sup>;
  - b – maximal power of cogeneration station, kWh per day<sup>-1</sup>;
  - e – dry content in substratum, %;
  - g – optimal dry content in fermenter, %;
  - x – optimal amount of the type of substratum, t per day;
  - X – maximal possible amount of substratum supply, t per day.

The standard  $a_i$  of energy production and the dry content in substratum  $e_i$  depend on the type of substratum –  $i$ .

The author of the Ph.D. thesis included in the optimization task the condition of energy amount which is influenced by the power of cogeneration station. The production of electricity is considered to be the main field of activity, wherewith, for example, the values of mineral substances do not have an important significance.

Table 2

**Basic characteristics of the substrata used for modelling**

Type of substratum	liquid manure	grain (winter wheat)	maize silage	grass silage
Electricity standard (ax), kWh t <sup>-1</sup>	39.00	1085.00	350.00	254.00
Dry content, %	7.00	87.00	33.00	35.00
Substratum price, LVL t <sup>-1</sup>	2.00	113.00	20.57	30.18

*Source: author's calculations based on Vecauce, 2012; Kalniņš, 2009*

The liquid manure is the cheapest substratum, but considering the admissible amount per day that follows the optimal fermentation time of substratum, only one third of required power can be obtained. In the example it would be that 55 tons of liquid manure give only 2145 kWh of electricity or 34% of the required power – 6240 kWh per day. As the main condition is not fulfilled, this alternative is not optimal. The recipe of the optimal composition would be 12.7 tons (22%) of maize silage and 46.1 tons (78%) of liquid manure; such proportion would allow obtaining the required power fitting the limitations of the capacity of bioreactor, however, not achieving the required average dry content (17%). The author of the Ph.D. thesis has calculated the total cost of this composition of substratum – 353.26 LVL per day or 0.057 LVL kWh<sup>-1</sup> of electricity.

**3.1.4. Modelling of required agricultural land**

The calculation of the required land depends on the productivity of energy plants, potential power obtained from the substratum of the respective substance, dry content, number of cattle and their species. The liquid manure can be considered as a by-product in food industry, therefore, the agricultural land utilised for the needs of cattle can be relatively included.

The required amount of substratum in the optimization model was calculated per day; therefore, when determining the total amount of substratum, it is necessary to calculate its amount required to ensure 8000 h per year foreseen in the electricity contract.

Following the same method, the author calculates the required amount of substratum for cultivated energy plants. To ensure the production of electricity

according to the amounts foreseen in the contract, 4233.3 tons of maize silage and 15366.7 tons of liquid manure are needed.

The required size of land to prepare maize silage is calculated just dividing the required amount of silage with the average productivity in the farm that is  $50\text{t ha}^{-1}$ . Then it is obtained that 84.7 ha of agricultural land are needed in order to prepare silage substratum (power  $260\text{ kW}_{\text{el}}$ ).

It is more difficult to calculate the size of land in order to prepare substratum from liquid manure. In the beginning, the required number of cattle that can produce the required amount of liquid manure must be calculated. The calculation is derived from the method described in the previous chapter and it is obtained multiplying the number of existent cows with the standard of the production of liquid manure or it is possible to count the total amount of liquid manure. In the calculations it is applied that one cattle produces 22 t of liquid manure per year, and then within the task of the model 698 cows are needed to prepare the substratum of liquid manure. Afterwards, the author calculates the size of land needed per cow and that depends on the technology and intensification level of cattle breeding.

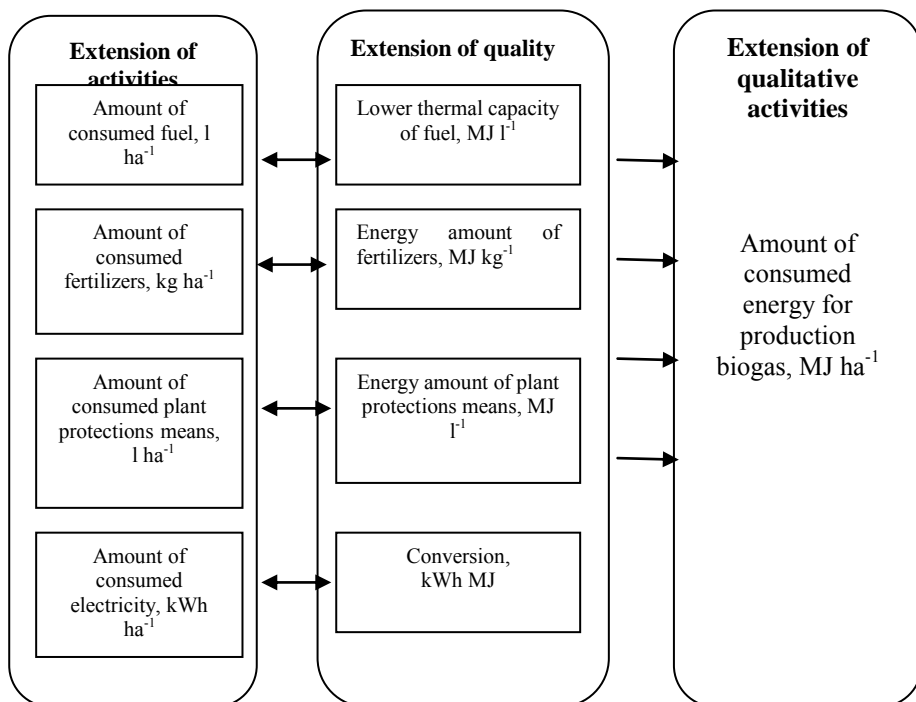
Considering the conditions of ensuring the food for one cow, 0.978 ha of agricultural land are needed, multiplying it with the number of cows we obtain the required size of land 683.4 ha.

In total, 768 ha of agricultural land are needed in order to be able to ensure the work of cogeneration station for  $260\text{ kW}_{\text{el}}$  in the closed regime. It should be mentioned that the greatest part or 91% of utilized land is meant to ensure the sector of cattle breeding.

### **3.1.5. Energy balance of biogas production**

The use of energy can be divided into direct and indirect consumption of energy. The direct consumption of energy is energy that can be expressed directly in the units of energy (fuel, lubricants, electricity), whereas the indirect energy (plant protection means, fertilizers) cannot be expressed in this manner. Basically, the balance of energy can be calculated by summing the amount of consumed fuel and electricity, as well as total consumed amount of energy consumed as resources in the production and transportation of agricultural products.





Source: author's construction

**Figure 8. Calculation scheme of consumed energy for substratum preparation and processing into biogas from 1 ha of agricultural land.**

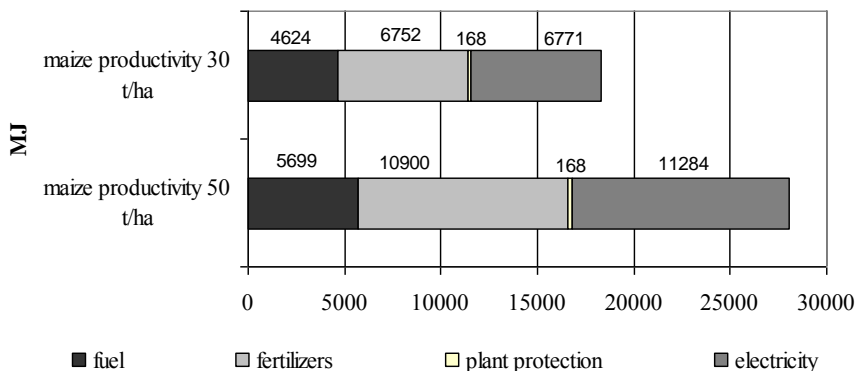
The balance of energy is characterised by the ratio of consumed and obtained energy or the coefficient of energy efficiency  $E_k$  which was calculated by the author according to the scheme seen in Figure 8.

$$E_k = \frac{E_{ieg.}}{Q_{degv.} * R_{degv.} + Q_{miner\ddot{a}lm.} * R_{miner\ddot{a}lm.} + Q_{aizs.} * R_{aizs.} + E_{el.} * R_{el.}} \quad (2.)$$

- where
- $E_k$  – coefficient of energy efficiency;
  - $E_{ieg.}$  – amount of obtained primary biogas energy produced from 1 ha calculated by multiplying the obtained amount of biogas with the lowest biogas heating capacity,  $Mj\ ha^{-1}$ ;
  - $Q_{degv.}$  – the amount of fuel required for maize cultivation, harvest and transportation to the place of biogas production;
  - $R_{degv.}$  – the lowest heating capacity of fuel,  $Mj\ ha^{-1}$ ;

- $Q_{\text{miner\ddot{a}lm}}$  – the amount of fertilizers required for maize cultivation,  $\text{kg ha}^{-1}$ ;  
 $R_{\text{miner\ddot{a}lm}}$  – primary energy consumption for fertilizer preparation,  $\text{MJ kg}^{-1}$ ;  
 $Q_{\text{aizs.}}$  – plant protection means required for maize cultivation,  $\text{l ha}^{-1}$ ;  
 $R_{\text{aizs}}$  – primary energy consumption for preparation of plant protection means,  $\text{MJ l}^{-1}$ ;  
 $E_{\text{el.}}$  – consumption of electricity,  $\text{MJ}$ ;  
 $R_{\text{el.}}$  – primary energy content of electricity,  $\text{MJ MJ}^{-1}$ .

The author of the Ph.D. thesis performed the calculations pursuant to two technologies of maize green mass cultivation: the intensive cultivation technology with which the productivity of maize can be  $50 \text{ t ha}^{-1}$  and less intensive technology with the productivity of  $30 \text{ t ha}^{-1}$ . In order to do calculations, several standards, consumptions and relative calculations should be applied; they can be found in more detail in the Ph.D thesis. The theoretical and practical research of several scientists as Gerin, Dalgaard, Romanelli, Milan, Pöschl, Adamoviča, Dubrovska and others are subjacent to the calculations.



Source: author's construction

Figure 9. **Structure of consumed energy for biogas production from maize silage considering the productivity of the cultivated plant,  $\text{MJ ha}^{-1}$ .**

**Consumed energies.** Inserting the gained values in the formula of energy balance calculation, it is obtained that the required energy by the productivity of  $50 \text{ t ha}^{-1}$  is  **$28\,051 \text{ MJ ha}^{-1}$** , but by the productivity of  $30 \text{ t ha}^{-1}$  it is  **$18\,315 \text{ MJ ha}^{-1}$** . The summary and division of the results are shown in Figure 9.

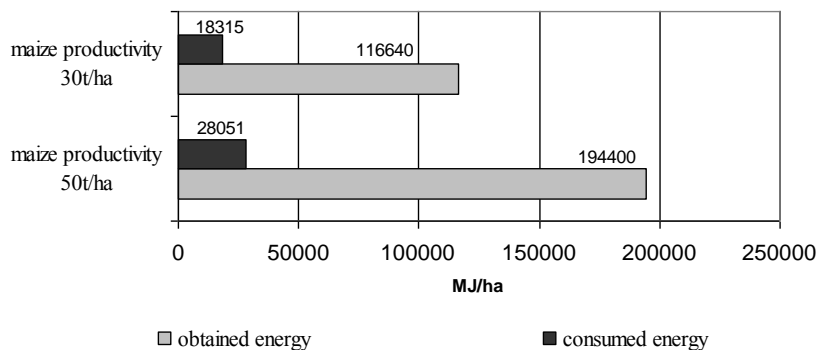
The amount of consumed energy by the lowest productivity is 35% less in comparison with the energy consumption by the productivity of  $50 \text{ t ha}^{-1}$ . Calculating per one ton of maize green mass,  **$561 \text{ MJ t}^{-1}$**  are obtained by the productivity of  $50 \text{ t ha}^{-1}$ , and  **$610 \text{ MJ t}^{-1}$**  are obtained by the productivity of  $30 \text{ t ha}^{-1}$ .

ha<sup>-1</sup>. Thus the advantages of intensive biomass production are proved despite the higher specific energy consumption per unit of agricultural land, higher productivity is more energy efficient. This calculation includes both the preparation of substratum and energy production; therefore, it should be perceived as an intermediate result. The ratio of consumed and obtained energy should be evaluated that allow making more determined conclusions.

**Obtained energy.** The calculation is based on two values. Firstly, it is necessary to determine the possible output of biogas from one ton of maize green mass, secondly, to determine the energy value of biogas. If we assume that 180 m<sup>3</sup> can be obtained from one ton of maize green mass, the lowest heating capacity of biogas is 21.6 MJ m<sup>3</sup>, pure methane – 35.9 MJ m<sup>3</sup> (Šmigins, 2008), then processing 1 t of maize green mass, 3888 MJ of energy are obtained. **194 400 MJ ha<sup>-1</sup>** are obtained by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup>, and **116 640 MJ ha<sup>-1</sup>** are obtained by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> (see Figure 10). The other authors (Adamovičs et al., 2009) indicate that processing into biogas it is possible to obtain from 36901 kWh ha<sup>-1</sup> to 46126 kWh ha<sup>-1</sup> or from 132 843 to 166 053 MJ ha<sup>-1</sup>. In this energy balance the values calculates by the author are in a larger interval because calculated by varied productivities, but the calculated values of Adamovičs and colleagues could have been calculated by the maize productivity of 40 t ha<sup>-1</sup>.

**Evaluation of energy balance.** As it was mentioned at the beginning of this subchapter, the energy balance is a ratio of consumed and obtained energy. Inserting the obtained values in the formula of energy balance (see Figure 10):

- the ratio of obtained energy to consumed is 1 to 6.38 by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup>;
- 1 to 6.93 by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup>. It means that consuming one unit of energy we can obtain up to seven times more energy in return.



Source: author's construction

Figure 10. **Obtained and consumed energy for biogas production from maize considering the productivity of the cultivated plant, MJ ha<sup>-1</sup>.**

In the research of Pöschl and colleagues it is concluded that the fluctuation of primary energy input and output ratio depends on the type of substratum and transportation distance and it is in the limits of 10.5 – 64% (Pöschl et al., 2010). The energy balance result of the author of the Ph.D. thesis is similar to the findings of the research in Germany although there are insignificant differences in methods and chosen conditions about transportation distance.

The energy ratio indicates the existence of the economic significance of production because the amount of consumed energy is significantly lesser than the amount of obtained energy. Similarly, the aforesaid is confirmed that by intensifying production with higher fertilization provision higher energy output per unit of agricultural land can be obtained. Of course, this conclusion can not be generalised, it should be aligned with the cognitions of agronomy on the possibilities of fertilization intensification and harvest output.

### 3.1.6. Evaluation of amount of greenhouse effect gases in biogas production

In this subchapter the author of the Ph.D. thesis performs the calculation of GHG balance; the calculation allows evaluating the balance of HGH with two maize cultivation technologies. The visual scheme of HGH balance calculation is similar to the scheme of consumed energy (see Figure 8). The values characterising the extent of the activity are the same, different are the values characterising the quality of the activity that, in this case, are related to the extent of GHG emissions. In the calculations the addends are composed of the multiplier that characterises the extent of the activity (litres, kg, kWh and others) and the multiplier that characterises the quality of the activity (kg CO<sub>2eq</sub> kg<sup>-1</sup>, kg CO<sub>2eq</sub> m<sup>-3</sup> and others). The balance of emissions of greenhouse effect gases can be calculated by multiplying the activity level by the emission factor expressed in equivalent values of CO<sub>2</sub>, attributing to the extent (EM<sub>ieg</sub>) of CO<sub>2</sub> attracted by plants. In the analytical mode of expression the formula is as follows:

$$EM_k = (Q_{degv.} * EF_{degv.} + Q_{miner\ddot{a}lm.} * EF_{miner\ddot{a}lm.} + Q_{aizs.} * EF_{aizs.} + Q_{el.} * EF_{el.} + Q_{biog.} * EF_{dedz.}) - EM_{ieg}, \quad (3.)$$

where

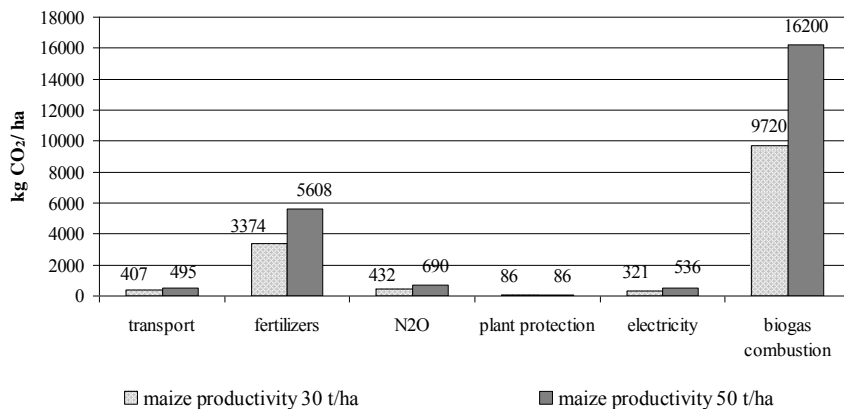
EM <sub>k</sub>	– created extent of GHG emissions, kg CO <sub>2eq</sub> ha <sup>-1</sup> ;
EM <sub>ieg</sub>	– extent of attracted CO <sub>2eq</sub> (maize), kg CO <sub>2eq</sub> ha <sup>-1</sup> ;
Q <sub>degv</sub>	– amount of fuel necessary for cultivation, harvesting and transportation of maize to the location of biogas production, l ha <sup>-1</sup> ;
EF <sub>degv.</sub>	– emission factor of fuel, kg CO <sub>2eq</sub> l <sup>-1</sup> ;
Q <sub>miner\ddot{a}lm</sub>	– amount of fertilizers necessary for maize cultivation, kg ha <sup>-1</sup> ;
EF <sub>miner\ddot{a}lm</sub>	– emission factor of fertilizers, kg CO <sub>2eq</sub> kg <sup>-1</sup> ;
Q <sub>aizs</sub>	– plant protection means for maize cultivation, l ha <sup>-1</sup> ;

- EF<sub>aizs</sub> – emission factor of plant protection means, kg CO<sub>2eq</sub> l<sup>-1</sup>;
- Q<sub>el</sub> – amount of electricity, kWh ha<sup>-1</sup>;
- EF<sub>el</sub> – emission factor of electricity characteristic for Latvia, kg CO<sub>2eq</sub> kWh<sup>-1</sup>;
- Q<sub>biog.</sub> – amount of biogas obtained from 1 ha by cultivating maize, m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>;
- EF<sub>dedz.</sub> – extent of CO<sub>2</sub> emissions created by burning biogas (value of the standard), kg CO<sub>2</sub> m<sup>-3</sup>.

The results are summarised according to the pairs of addends that form the total extent of created GHG. But to from the balance it is necessary to calculate the extent of CO<sub>2</sub> attracted by plants which is consumed in the process of photosynthesis.

**Created GHG emissions.** Summing the total extent of created GHG emissions in the whole biogas production cycle starting from the cultivation of cultivated plants and ending with the burning of biogas, it is obtained that in total **14340 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>** are created by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> and **23565 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>** by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup>. The results on the separate extents of created CO<sub>2</sub> are summarized in Figure 11.

The greatest part of emissions is created by burning biogas 9720 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> and 16200 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> that is somewhat under 70% of total emissions. The next biggest group of created emissions is production and usage of fertilizers that create more than 23% of total emissions. Evaluating the emissions per unit of maize green mass, it can be concluded that the extent of emissions fluctuate slightly; it is **478 kg CO<sub>2eq</sub> t<sup>-1</sup>** by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> and **471.3 kg CO<sub>2eq</sub> t<sup>-1</sup>** by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup>.



Source: author's construction

Figure 11. **Extent of GHG emissions in the process of biogas production from maize silage, kg CO<sub>2eq</sub> ha<sup>-1</sup>.**

By virtue of the fact that the main product is energy, it is remarkably important to calculate the total amount of GHG emissions per energy unit. To produce 1 MJ of energy, **122.9 g CO<sub>2eq</sub>** are created by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> and **121.2 g CO<sub>2eq</sub>** by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup>. It can be concluded that the productivity of cultivated plants does not substantially influence the extent of created GHG emissions. The calculation emphasise the great influence of biogas burning process and fertilization means on the sustainable biogas production. Therefore, the usage of digestate is an important factor in the cultivation of substratum necessary for biogas not only as an economically important condition, but also as a gain of the power industry and the environment.

**The extent of CO<sub>2</sub> involved in the process of photosynthesis.** An important environmental gain in power industry using energy plants is not only the replacement of fossil resources, but also the attraction of GHG happening within the process of plant photosynthesis. The amount attracted CO<sub>2</sub> can be calculated multiplying the dry content by the factor of CO<sub>2</sub> attraction.

It is assumed that the dry content of maize in the green mass is 33%. It gives the result that 9.9 t<sub>sausn</sub> per ha are obtained if the productivity of the green mass is 30 t ha<sup>-1</sup> and 16.5 t<sub>sausn</sub> if the productivity is 50 t ha<sup>-1</sup>.

For the calculation of the second necessary value of the factor of CO<sub>2</sub> attraction (PF<sub>kukur.</sub>) the data from field observations are needed which are not available for the author of the Ph.D. thesis. Therefore, the author will apply the factors of CO<sub>2</sub> attraction already mentioned in the scientific literature. The assumed factors of CO<sub>2</sub> attraction for maize silage is 17745 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> by the productivity of dry content 13 t ha<sup>-1</sup> (Chianese et al., 2009) or dividing per unit of dry content mass - 1365 kg CO<sub>2</sub> t DM ha<sup>-1</sup>, but dividing per energy unit the gain from 1 ha is 0.114 kg CO<sub>2</sub> MJ<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. The authors of the employed research substantiate on the observations in the USA, the factor of emission attraction is lower than in the research of Latvian scientists Adamovičs and colleagues where it is 0.1767 kg CO<sub>2eq</sub> MJ<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> by the productivity of 40 t ha<sup>-1</sup> of maize green mass. It means that, theoretically, the maize in Latvia attracts more CO<sub>2</sub> than in the USA which is hard to explain for the author of Ph.D. thesis. In the research carried out in the USA the productivity is expressed in the units of dry content, but in the research in Latvia it is expressed in the units of green mass, the results are relatively comparable. Taking into account the prudence not to create pretentious view of the biogas as sustainable product, the author will choose the lowest of the values which is 1365 kg CO<sub>2</sub> t DM ha<sup>-1</sup>. The obtained values can be put into the equation and calculate the extent of the attracted CO<sub>2</sub>. By the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> the green mass of maize attracts **13513.5 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>**, but by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup> the green mass of maize attracts **22522.5 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>**.

**GHG balance.** The obtained and calculated values in the chapter are summarized in Table 3. In the calculation of GHG per MJ it is assumed that

from one ha 116640 MJ of energy is obtained by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> and 194400 MJ by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup>. The comparator for cogeneration of fossil energy fuel calculating the economy of energy according to the item 19 of part C of appendix 5 of the Directive 2009/28 is 85 g CO<sub>2eq</sub> MJ<sup>-1</sup>.

In accordance with the balance of GHG emissions, during the cycle of biogas usage, which is obtained from maize substratum, 7 g CO<sub>2eq</sub> MJ<sup>-1</sup> are produced additionally by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> and 5.3 g CO<sub>2eq</sub> MJ<sup>-1</sup> by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup>.

Table 3

**Balance of GHG emissions for the production of energy from biogas using maize substratum**

Source of GHG emissions	Created kg CO <sub>2eq</sub> ha <sup>-1</sup>	Created g CO <sub>2eq</sub> MJ <sup>-1</sup>	Created kg CO <sub>2eq</sub> ha <sup>-1</sup>	Created g CO <sub>2eq</sub> MJ <sup>-1</sup>
	<i>Maize productivity 30 t ha<sup>-1</sup></i>		<i>Maize productivity 50 t ha<sup>-1</sup></i>	
Transport and machinery	406.9	3.5	495.2	2.5
Fertilizers (N 34.4; NPK 16-16-16)	3373.9	28.9	5558.3	28.6
Fertilizers (N <sub>2</sub> O)	432.2	3.7	689.7	3.5
Plant protection means	86.3	0.7	86.3	0.4
Electricity	320.8	2.8	535.6	2.8
Biogas burning	9720.0	83.3	16200.0	83.3
TOTAL created CO <sub>2eq</sub> :	14340.1	122.9	23565.1	121.2
Attracted within the process of photosynthesis CO <sub>2</sub>	-13513.5	-115.9	-22522.5	-115.9
<b>BALANCE 1</b>	<b>826.6</b>	<b>7.0</b>	<b>1042.6</b>	<b>5.3</b>
Comparator of fossil energy	×	-85.0	×	-85.0
<b>BALANCE 2</b>	×	<b>-78.0</b>	×	<b>-79.7</b>

Source: author's construction

Comparing the extent of CO<sub>2eq</sub> produced in biogas usage with the comparator of fossil energy, a negative value is obtained. It means that during the full production cycle of energy where the biogas is obtained from the substratum of maize silage, but afterwards the electricity is produced in the process of cogeneration, CO<sub>2</sub> is produced more than attracted within the process of photosynthesis. Although the additionally produced values of CO<sub>2</sub> exceed the values attracted in the manner of photosynthesis, they are still comparatively small comparing to emissions of fossil energy usage. The ratio of produced GHG emissions to the attracted in the manner of photosynthesis is 1:0.94 by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> and 1:0.96 by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup>. Basically, this process is close to neutral.

### 3.1.7. Amount and costs of produced energy

The costs of energy production consist of variable and fixed costs. The division of costs included in the model is shown in Table 4. Substratum is the base component of variable costs which according to the optimisation model are 353.26 LVL per day or 128 939.90 LVL per year. Service and maintenance costs consist of labour costs, costs of bioreactor maintenance and loading costs for substratum.

Table 4

#### Division of energy production costs in the farm simulation model, per year

Type of costs	Sum of costs, LVL	Costs per unit, LVL kWh <sub>el</sub> <sup>-1</sup>	Costs per energy unit, LVL kWh <sub>heat.s&amp;elek</sub> <sup>-1</sup>	Proportion of costs, %
<b>Fixed costs</b>	82 000	315.38	0.023	30.5
<b>Variable costs</b>				
Substratum costs	128 940	495.92	0.036	47.9
Labour costs	23 000	88.46	0.006	8.6
Services and goods	17 000	65.38	0.005	6.3
Transportation costs of substratum	18 000	69.23	0.005	6.7
<b>TOTAL:</b>	<b>268 940.00</b>	<b>1034.37</b>	<b>0.076</b>	<b>100.0</b>

Source: author's calculations

The analyses of economic activities in agriculture allow various accountancy versions to characterise inner consumption that can give different results as well. The manager of an enterprise in order of necessity and market situation competes in the market of meat products, as well as in the markets of dairy products and plant-growing produce and the production of energy is a stabilising factor of an enterprise. Costs per unit of energy, which are composed by the produced electricity and expedient heat energy in the simulation model, are an important indicator in energy production. The total produced amount of energy is 3 559 215 kWh per year. The calculated costs per unit of energy are shown in the 4<sup>th</sup> column of Table 4. The fixed costs are an important component of costs where the greatest part consist of payments for cogeneration station, as well as costs for substratum which form almost a half of total costs. Total costs - 0.076 LVL kWh<sub>heat.s&elek</sub><sup>-1</sup> can not be equated to the realization price as it involves the total price of electricity and heat energy. Practically, these are different markets therefore the prices and costs should be divided in heat and electricity costs and realization price.



Practical calculation of exergy is quite complicated and involves several unknown parameters therefore within the framework of the simulation model the author of Ph.D. thesis on the basis of the research of D.J. Kim (2010) assumes the proportional division of total exergy which complies with 35% of heat exergy and 65% of electricity exergy. In accordance with the previously mentioned, heat costs would be 0.084 LVL kWh<sup>-1</sup> and electricity costs would be 0.064 LVL kWh<sup>-1</sup>. These calculations do not involve the possible funding of investments and production support programmes.

### 3.2. Effect of digestate usage

Digestate is a fermented substratum created in the process of methane fermentation in a biogas production facility. Using the digestate, it is possible to reduce indirectly the GHG emissions that are produced in the process of agricultural production.

#### 3.2.1. Determination of market value and required amount

The chemical composition of digestate depends on the substratum infused for fermentation. Comparing compositions of various substrata, the ratio of common nitrogen and phosphorus is less inconsistent, but the content of calcium is inconsistent, it is mainly influenced by the dry content. As the producers of biogas admit, the efficiency of practical usage of digestate in practical field experiments has not been evaluated yet as the experience in using digestate is quite insignificant in Latvia.

To determine the composition of nutrients (ratio of N-P-K) of digestate, the the of Ph.D. thesis applied the average values which were obtained from the biogas producers in Latvia and comments of the director of SRS “Vecauce” I. Grudovska. The laboratory analyses, which were performed on digestate samples in Latvia, show that the greatest part of nutrients in it is composed of potassium, in a lesser amount nitrogen, and the least is phosphorus.

Table 5  
Value of plant nutrients of fertilizers and digestate, LVL kg/t<sup>-1</sup>

Element of clear substance	Price of clear substance of fossil fertilizers, LVL kg <sup>-1</sup>	Clear substance in digestate	
		amount, kg t <sup>-1</sup>	value, LVL t <sup>-1</sup>
N	0.73	1.87	1.37
P	1.53	0.57	0.87
K	0.58	2.77	1.61
Total	×	×	<b>3.85</b>

Source: author's calculations based on information for 2011 of Company Ltd. “Latferi”

To evaluate the economic effect of the usage of digestate, in point of fact, means to compare with alternative costs, in this case with costs that result from

using fossil fertilizers. The prices of clear substance of fossil fertilizers are shown in Table 5, the value added tax is included in the price.

Employing the prices of clear substances and knowing the composition of nutrients in digestate (N-P-K), the economic value of digestate can be calculate following the formula:

$$V_{\text{digest.}} = ((P_{\text{ftrv.N}} * B_{\text{dig.N}} * B_{\text{sausn.}}) + (P_{\text{ftrv.P}} * B_{\text{dig.P}} * B_{\text{sausn.}}) + (P_{\text{ftrv.K}} * B_{\text{dig.K}} * B_{\text{sausn.}})) * 1000, \quad (4.)$$

where  $V_{\text{digest.}}$  – economic value of digestate, LVL  $t^{-1}$ ;  
 $P_{\text{ftrv.i}}$  – price of clear substance  $i$  of fossil fertilizers, LVL  $kg^{-1}$ ;  
 $B_{\text{dig.i}}$  – mass component of nutritive element  $i$  in dry content;  
 $B_{\text{sausn.}}$  – mass component of dry content in digestate;  
 $i$  – nutritive elements N (nitrogen), P (phosphorus), K (potassium).

In accordance with the calculations, the value of nutrients of digestate is 3.85 LVL  $t^{-1}$ . To determine the prime cost of digestate, it is requisite to include the costs of transportation and scattering as well which are rather high for digestate due to little dry content. Also in the usage of fossil fertilizers the same technological operations are requisite. However, the concentration of plant nutrients of fossil fertilizers is much higher, wherewith the usage of plant nutrients is economically more effective. Therefore, calculating the market price of digestate the author of the Ph.D. thesis considers the additional costs related to the scattering of digestate.

In compliance with the chosen technologies of maize cultivation and to grow 30  $t ha^{-1}$  of maize, 116.8 kg of nitrogen, 48 kg of phosphorus and 48 kg of potassium clear substance are needed. Whereas, for the harvest of 50  $t ha^{-1}$  of maize 186 kg of nitrogen, 83 kg of phosphorus and 83 kg of potassium clear substance are needed per ha. In order to determine the necessary amount of digestate to replace fossil fertilizers, it is required to follow the necessity of nitrogen as it is more volatile, and pollutes more the soil and surrounding waters. The usage of this element is also regulated by the regulations of the Cabinet of Ministers No.33. In the analysed example 62.5  $t ha^{-1}$  of digestate fertilizer are needed by the productivity of 30  $t ha^{-1}$  and 99.5  $t ha^{-1}$  by the productivity of 50  $t ha^{-1}$ . The comparison and calculated results of the usage technologies of digestate and fossil fertilizers are included in Table 6.

The costs of scattering and transportation of fertilizers are six times lower than of digestate or 21.31 LVL  $ha^{-1}$  and 32.07 LVL  $ha^{-1}$ . The difference of costs of transportation and scattering of digestate and fossil fertilizers is 108.44 LVL  $ha^{-1}$  by the productivity of maize green mass 30  $t ha^{-1}$  or 1.74 LVL  $t_{\text{dig.}}^{-1}$  and 174.57 LVL  $ha^{-1}$  by the productivity of 50  $t ha^{-1}$  or 1.75 LVL per ton of scattered digestate.

Table 6

**Comparison of technological operations of transportation and scattering/vaporization of fossil fertilizers and digestate considering the productivity of maize biomass ( $t\ ha^{-1}$ ), LVL**

Indicator	Unit	Fertilizers		Digestate	
Productivity	$t\ ha^{-1}$	30	50	30	50
Costs:					
Transportation	LVL $ha^{-1}$	0.35	0.57	43.13	68.66
$C_{transp.}$	LVL $t^{-1}_{dig.}$	×	×	0.69	0.69
Vaporization/ scattering	LVL $ha^{-1}$	20.54	30.81	76.19	121.36
$C_{izsmidz./izkl.}$	LVL $t^{-1}_{dig.}$	×	×	1.22	1.22
Labour, $C_{civ.h}$	LVL $ha^{-1}$	0.42	0.69	10.43	16.62
	LVL $t^{-1}_{dig.}$	×	×	0.17	0.17
<b>Total</b>	LVL $ha^{-1}$	21.31	32.07	<b>129.75</b>	<b>206.64</b>
	LVL $t^{-1}_{dig.}$	×	×	<b>2.08</b>	<b>2.08</b>

Source: author's calculations based on the prices of 2011

On the basis that using fossil fertilizers a purchaser accepts the costs related to their scattering by the determined price of fertilizer, the value of mineral substances of digestate can be lowered by a value that includes additional expenses related to the scattering of digestate. Consequently, determining the market value of the digestate we have to subtract additional expenses of transportation and scattering  $1.75\ LVL\ t^{-1}_{dig.}$  from the value of mineral substances of digestate in terms of money  $3.85\ LVL\ t^{-1}$ . By the existing conditions **the market value of digestate is  $2.10\ LVL\ t^{-1}_{dig.}$**

### 3.2.2. Substitution possibilities of fossil fertilizers with digestate

The main advantage of the usage of digestate is related to the substitution of fossil fertilizers. As the result of substitution the costs for fossil fertilizers are reduced and reduced  $CO_2$  amount related to the production of fossil fertilizers.

The author of the Ph.D. thesis determines the possibility to substitute fossil fertilizers with digestate obtained from maize grown on 1 ha area. The author assumes that from 1 t of maize silage 1 t of digestate can be obtained.

By the productivity of  $30\ t\ ha^{-1}$  of maize grown on 1 ha 51 kg of nitrogen, 15 kg of phosphorus and 75 kg potassium can be obtained. Similarly the obtained amount of plant nutritive elements in digestate are calculated by the productivity of  $50\ t\ ha^{-1}$  considering 10% of loss, thus 84 kg of nitrogen, 26 kg of phosphorus and 125 kg of potassium are obtained. The digestate obtained from 1 ha of maize green mass can fully ensure the necessary amount of potassium to grow 1 ha of maize. But apart from the productivity, the fertilizers of nitrogen and phosphorus should be given additionally. The digestate by the

existent conditions gives **the economy of 44-45% of nitrogen fertilizers, 31 % of phosphorus** and the economy of **100% of potassium** fertilizers.

Calculating the financial saving for a farm, the comparison of costs is summed up in Table 7.

If the amount of nutritive in digestate is the basis for calculations, the total economy from the usage of digestate is 103.68 LVL ha<sup>-1</sup> by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> and 173.60 LVL ha<sup>-1</sup> by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup>.

Table 7

**Comparison of costs of fossil fertilizers and digestate used for maize fertilization considering the productivity of maize biomass (t ha<sup>-1</sup>), LVL ha<sup>-1</sup>**

Plant nutrients		Maize productivity 30 t ha <sup>-1</sup>			Maize productivity 50 t ha <sup>-1</sup>		
		Fertilizer costs LVL ha <sup>-1</sup>			Fertilizer costs LVL ha <sup>-1</sup>		
element	price of clear substance LVL kg <sup>-1</sup>	fossil fertilizers	digestate	+/-	fossil fertilizers	digestate	+/-
N	0.73	85.41	37.23	48.18	135.78	61.32	74.46
P	1.53	73.44	22.95	50.49	126.99	39.78	87.21
K	0.58	27.84	43.50	×	48.14	72.50	×
Total		186.69	103.68	<b>98.67</b>	310.91	173.60	<b>161.67</b>

Note: × is not calculated because Fertilizer K is ensured fully

Source: author's calculations

It can be concluded that in respect to the productivity the economy from the reduction of the amounts of fossil fertilizers is a little bit greater than a half from all necessary investment into maize fertilization. Thus, reverting the N-P-K remained in digestate the economy of 56% of costs per one unit of area can be gained which would have been spent on the purchase of mineral fertilizers. Such amount of economy should be considered as maximum as the digestate fertilizer is more difficult to diversify.

Including the rise in prices related to the transportation and vaporization of the great amounts of digestate, it is gained that the economy per one ha is 41.04 LVL by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> and 70.94 LVL by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup>. Comparing this economy with the costs of the usage of fossil fertilizers per 1 ha, it is obtained that **the total economy (costs of resources and scattering) is 16 to 20%**.

### 3.2.3. Environmental factors of the usage of digestate

The author determining the environmental factors of digestate has chosen a simplified method where the effect of GHG which is created replacing the fossil fertilizers by the digestate is a difference between the extent of emissions

of the economised fertilizers in the usage of digestate and the extent of emissions created by fuel necessary for vaporization of digestate fertilizers.

In the determination of the extent of GHG emissions the calculation data of emission factors of *BioGrace* project were applied (Biograce – List of ..., 2011). The result are summarised in Table 8.

The total obtained **economy of GHG emissions is 967.7 kg CO<sub>2eq</sub> ha<sup>-1</sup>** by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> and **1601.8 kg CO<sub>2eq</sub> ha<sup>-1</sup>** by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup>. Calculating the proportional economy of GHG emissions from the usage of digestate fertilizers in respect of total amount of emissions, it is obtained that using digestate, the **GHG emissions decrease by 29%**.

Table 8

**Economised extent of GHG emissions substituting fossil fertilizers with digestate by the productivity of maize 30 t ha<sup>-1</sup> and 50 t ha<sup>-1</sup>**

Element of plant nutrients	Amount of clear substance of plant nutrients, kg ha <sup>-1</sup>				Factor of GHG emissions of fertilizers, kg CO <sub>2eq</sub> kg <sup>-1</sup>	Economised amount of GHG emissions, kg CO <sub>2eq</sub> ha <sup>-1</sup>	
	in digestate		expressed in the physical amount of fertilizers*			Maize productivity t ha <sup>-1</sup>	
	<i>Maize productivity t ha<sup>-1</sup></i>		<i>Maize productivity t ha<sup>-1</sup></i>			<i>Maize productivity t ha<sup>-1</sup></i>	
	30	50	30	50		30	50
N	51	84	146	240	6.209	906.5	1490.2
P	15	26	31	54	0.731	22.7	47.5
K	75	125	125	208	0.308	38.5	64.1
Total						967.7	1601.8

\* equated values for fertilizers used in Latvia to the standards used in BioGrace research: ammonium nitrate (N 35%), triple superphosphate (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 48%), potassic chloride (K<sub>2</sub>O 60%)  
Source: author's calculations based on Biograce – List of ..., 2011

The additional GHG emissions in the usage of digestate basically are created by the vaporization and transportation of digestate. The emissions of greenhouse gases of technological processes are determined as the multiplication of the factor of fuel emissions and the amount of used fuel. With the great amount of transportation and vaporization of digestate 151.9 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> and 243.7 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup> are produced. Returning to the calculation of the economised GHG emissions in the usage of digestate using the equation 3 it can be gained that using the digestate as fertilizer in comparison with the fossil fertilizers the economy of GHG is **815.8 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>** by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> and **1358.1 kg CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>** by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup>. Attributing the obtained result to the total emissions related to the preparation of substratum it is obtained that the usage of digestate decreases the extent of GHG emissions created by the cultivation and preparation of biogas substratum by 18%

(precisely 17.7 and 18.3 depending on productivity). The usage of digestate creates a positive effect not only on the financial indicators of the biogas farm, but it also affects positively the environmental sustainability of the farm.

## **4. CONCEPTION OF THE ESTABLISHMENT OF BIOENERGY VILLAGE**

*The chapter comprises 22 pages including 6 tables and 5 figures.*

The fourth chapter of the Ph.D. thesis is dedicated to the practical analyses of conception of bioenergy village. The author by virtue of the formation principles of German bioenergy villages applying the previously developed simulation model of biogas production will perform calculations to evaluate the economic and environmental benefits of the establishment of bioenergy village and necessary for it resources. Within the chapter the results of the survey of inhabitants are reflected in order to estimate the support of the society in the usage of alternative sources of energy. At the end of the chapter the calculations are performed to evaluate the benefits which would derive from the realisation of such model of bioenergy villages in 24 provincial towns in Latvia where the infrastructure of natural gas is available.

### **4.1. Conditions of establishment**

The most significant in the establishment of bioenergy village is to attain the full self-provision of heat (100%) and partial self-provision of electricity (50%) using local resources; to improve the quality of the environment not only in local level, but in general considering the creation of GHG emissions, to integrate and improve the agricultural production with the help of more effective usage of resources. To perform calculations for the establishment of bioenergy village and evaluate the benefits it is important to: calculate the energy demand; analyse the existent offer and the availability of existent resources; analyse the support of the society in the usage of renewable sources in the energy industry in the case of the development of bioenergy village.

Not all the results can be calculated using technical conditions; therefore, the author has chosen one provincial town of Latvia – Auce which is the basis for the calculations performed in this chapter for the development of biovillage. The choice is substantiated by the fact that SRS “Vecauce” is a part of the research infrastructure of LUA; it has its own biogas station which could potentially provide households with heat; the situation has historically developed that the SRS already now provides part of the households of Auce with heat.

In the evaluation and analyses of the establishment of bioenergy village, the author of the Ph.D. thesis uses the concept “village”, although Auce is a

provincial town. In accordance with the administrative division of Germany the local administrative units are villages. In the scientific literature the term “bioenergy village” is also used and not “bioenergy town”. It should be considered that the establishment of bioenergy village can be attributed to some part of the town therefore the application of the term is acceptable.

#### 4.1.1. Demand for energy resources

Analysing the potentialities of the establishment of bioenergy village one of the most important conditions is the sustainable demand for energy which is characterised by a stable long-term demand for energy and the ability of the inhabitants to cover the expenses for energy.

Auce is a typical provincial town of Latvia with the rural area (4371.7 ha) including the urban territory of Auce 366.0 ha. Less than 4000 inhabitants live in Auce town and Vecauce parish.

In order to determine the required amount of heat and electricity for households in Auce, the author of the Ph.D. thesis applies two ways of information acquisition:

- 1) for the heat the data are obtained from the suppliers of central heating, but in the case of private houses from the data of the survey of inhabitants;
- 2) for the electricity the data were obtained calculating from the local consumption from the survey of inhabitants (the survey carried out in 2010).

In accordance with the data of the Council of Auce, the number of households in Auce town on 1 January 2010 was 1104, and 561 of them lived in private houses, but 543 – in block houses. During the research, 566 households were surveyed, which accounts for 50% of the target group, of which 267 households (47.5%) lived in private houses and 297 (52.5%) in block houses.

Considering all previously mentioned conditions and performing calculations it is obtained that in Auce town during a year **6804.6 MWh of heat** and **3 765 MWh of electricity** are required.

#### 4.1.2. Supply of energy resources

One of the main obligatory principles of the establishment and operation of bioenergy village is the usage of the energy resources of local origin. Therefore, it is necessary to analyse the possibility to use local primary energy resources.

The electricity in Auce territory is supplied by AS Latvenergo, the central heating is provided by Ltd. Company “Auces komunālie pakalpojumi” and SRS “Vecauce” of LUA. Since 2003 Ltd. Company “Auces komunālie pakalpojumi” uses one boiler house where woodchip is burnt, but SRS

“Vecauce” of LUA in its boiler house uses wood and liquid gas as an additional fuel.

Vecauce biogas station provided the production of electricity of 1 768 530 kWh (in 2009) and 1 626 980 kWh (in 2010) calculating 284 kWh per household in Auce or 3408 kWh per year, consequently the biogas station can ensure 518 households with electricity which is half of the households in Auce.

As it was described in Chapter 3, from agricultural products, the most efficient way is to produce energy from biogas using cattle breeding surplus as a basic resource. In this chapter, the author of the Ph.D. thesis has analysed possible suppliers of resources and amounts of energy resources of biovillage.

Analysing the potential surplus of cattle breeding the distance from cattle breeding farms (manure depositories) to biogas production units should be considered. The greatest amounts of resources are associated with the pig-breeding complex of SRS “Vecauce” of LUA, the pig-breeding complex of Ltd. Company “*Baltic Breeders*” in Īle parish, Latvia State Forest and private resources of forest stands, as well as 83 peat extraction places in Auce area.

#### **4.1.3. Public support for the establishment of bioenergy village**

One of the assignments of sustainable economics is the public support for integration of external effects into the market system. The public support for the establishment of bioenergy village is one of the most significant and the most complicated to achieve conditions to reach the target.

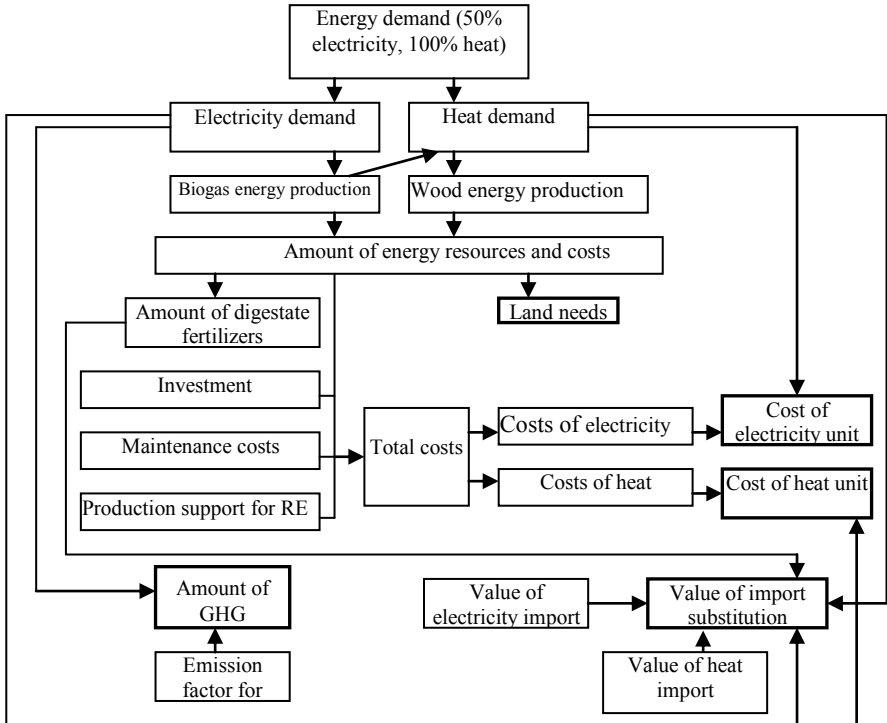
In economics the willingness to pay is understood as the person’s maximal readiness (willingness) to pay in order to compensate some benefit or damage that result from the economic activities, but is not included in the costs of products. In order to estimate the public willingness to pay the author of the Ph.D. thesis carries out a sociological survey with the target to determine hypothetical or actual readiness of consumers to pay. Only slightly more than one fifth (22%) of households are ready to increase the costs of energy consumption in order to support renewable sources. The majority think that the present contribution of a household is sufficient or the present situation does not allow paying more for the more extensive usage of renewable energy. Overall 362 respondents (64%) have declared that they do not want to pay more.

From the components of bioenergy village described above – energy demand, energy supply and public support, exactly the last one is the most sensitive issue and is related to greater risks. The public support in the form of the readiness to pay is an amenable and changeable indicator.



## 4.2. Analyses of energy production required for bioenergy village

In this chapter based on energy demand and possibilities of resource supply the author of the Ph.D. thesis regarding the example of Auce develops **the model of energy production in bioenergy village** (see the flow-chart of calculations in Figure 12).



Source: author's construction

Figure 12. **Flow-chart of calculations for the model of energy production in bioenergy village.**

The following components of energy production are offered in the model:

- biogas cogeneration (electricity and heat are obtained);
- firewood is used to produce heat.

These two components have been combined in the unitary model of bioenergy village, but in order to compare the obtained results with the energy supply dominating now in towns the author also includes the component of fossil resources – version of fossil energy.

The production is considered to be a priority that ensures the bioenergy village with electricity and part of the required heat. The rest of the required heat is ensured by the boiler house heated with firewood.

The version of the usage of fossil energy is calculated by the similar scheme as in Figure 12. In this case liquid natural gas is used, no cogeneration is used but the local production of heat, and therefore the scheme is simpler. The public trader ensures the supply of electricity.

There are several assumption applied by the author of the Ph.D. thesis: the heating season is 4100 h per year; the efficiency of the boiler is 0.8; the lowest burning heat of the wood is  $2.838 \text{ MWh t}^{-1}$ ; the lowest burning heat of the woodchip is  $2.79 \text{ MWh t}^{-1}$ ; the time of depreciation of boilers is 12 years; support amount of 40% from referable costs; 3 stokers are employed full time; administration costs 2% of total costs etc.

Comparing the characteristic indicators of components of biogas cogeneration with obtained indicators of components of wood usage, the complicity and capacity of biogas production are clearly seen. Total costs of biogas production calculating per unit of MWh are 117.54 LVL a year which are considerably higher than using wood. However, it is important to mention that these indicators are not comparable directly.

Creating the synergy from energy produced from biogas or wood resources the demand for the heat produced from wood is decreased in the calculations; it is compensated by the heat which is produced in the cogeneration station of biogas. The amount of heat besides the heat produced in biogas station, which should be ensured from wood, is 5325.4 MWh or 78.3% of total amount of heat a year.

Within the framework of the Ph.D. thesis, the author calculated the version of energy supply of fossil resources which can also be considered as partly alternative as in this version the heat supply foresees the transition to liquid gas. The assumption applied in the calculations: the heating capacity of oil gas is  $27\,000 \text{ Kcal m}^{-3}$ ; the price of liquid oil gas is  $1.81 \text{ LVL m}^{-3}$ ; gas boiler house with gas reservoir costs 220 000 LVL; 2 stokers are needed; the electricity price is declared by AS Latvenergo,  $0.035 \text{ LVL kWh}^{-1}$ ; the density of the liquid gas is  $2.26 \text{ kg m}^{-3}$  etc.

The results of the calculations are shown in Table 9 comparing together two alternatives: the version of the alternative of combined bioenergy village (formed of the components of wood heat and biogas cogeneration) and the alternative of fossil energy.

The production of energy in bioenergy village is closely related to the agriculture because a part of primary energy resources are agricultural products.

Table 9

**Comparison of the production alternatives of the model of bioenergy village and fossil energy**

Indicators	Unit	Version of fossil energy	Bioenergy village
Heat demand	MWh	6804.60	6804.60
Electricity demand	MWh	3765.10	3765.10
Resource demand	t; m <sup>3</sup> in bulk m <sup>3</sup>	239 695 m <sup>3</sup> liquid gas	4233.30 t silage 15366.70 t liquid manure 2636.40 m <sup>3</sup> wood 3728.60 in bulk m <sup>3</sup> woodchip
Value of fuel resources	LVL kWh <sup>-1</sup>	0.06	0.02
Heat output	MWh	6 804.60	6 804.60
Electricity output	MWh	0	2 080.00
Heat supply, %	%	100	100
Electricity supply, %	%	100*	55.20
Investments for equipment	LVL a year	14 666.67	82 410.00
Maintenance costs	LVL a year	44 709.69	125 810.39
Substratum costs	LVL a year	433 847.95	190 458.36
Total costs	LVL a year	493 224.31	398 678.75
Support for investments	LVL a year	-	32 964.00
Support for production (electricity)	LVL kWh <sup>-1</sup>	-	0.10 - 0.15
Total costs with support	LVL a year	493 224.31	365 714.75
Heat costs	LVL kWh	0.07	0.03
Electricity costs	LVL kWh	0.03*	0.08
Created amount of emissions	t CO <sub>2eq</sub>	1886.24	93.50
Value of import substitution	LVL a year	-1825.31	199 060.69

Note: \* it is assumed that the public trader ensures it in accordance with the tariff confirmed by PUC

Source: *author's* calculations

Carrying out the calculations according to the flowchart in Figure 12, the author of the Ph.D. thesis acquires the following indicators of the bioenergy village Auce:

- 1) to ensure the demand for resources 4 233.3 t of silage and 15 366.7 t of cattle liquid manure are required, as well as 2 636.4 m<sup>3</sup> of wood and 3 728.6 in bulk m<sup>3</sup> of woodchip;
- 2) to produce silage 84.7 ha of agricultural land are needed, to certain extent it can be said that this land needs the change of usage from production of food to production of energy resources. Here also the uncultivated agricultural land can be used which is 3 179 ha in Auce;

- 3) public support, readiness to pay for renewable energy is a developable and changeable factor. It is equal as in Auce so in Latvia in general. 22% are ready to pay more for this kind of energy;
- 4) each year the bioenergy village will give the economy of 1 792.74 t CO<sub>2eq</sub> GHG emissions in comparison with the usage of fossil energy in the supply of energy. In the national level 199 060.69 LVL will be economised which would otherwise be spent for imported energy resources;
- 5) the expenses of households for heat will not increase. The opposite situation is with the electricity, these expenses in the case of bioenergy village are higher than average expenses for electricity offered by the public trader in Latvia.

However, the price of electricity includes more components as the costs for the services of transmission and distribution grids, costs of the obligatory purchase, the costs of trade service of electricity and VAT.

#### **4.3. Possibilities of establishment of bioenergy villages substituting natural gas**

By the energy production model of bioenergy village developed by the author of the Ph.D. thesis, Auce has possibilities to implement the idea of bioenergy village, however, by now only formally as there is no substantial public support for the idea. The positive effects of alternative energy can become apparent in cities using natural gas for their consumption. Therefore, the author of the Ph.D. thesis will adapt the model of bioenergy village developed in this chapter for 24 populated areas in Latvia which can be named as provincial towns wherewith they basically are similar to Auce and which have the infrastructure of natural gas. The author considering the calculations made in the previous chapter 4.2 and the obtained results will calculate the economic and environmental benefits if the towns of Latvia with the infrastructure of natural gas were transformed into bioenergy villages.

In total there are 168 083 inhabitants in the chosen towns which is 8.2% of the population of Latvia or 16.9% of inhabitants in Latvia who do not live in the republican cities. The author cannot get the complete information about the number of households, energy consumption and its structure, therefore the example of Auce bioenergy village will be applied.

In total in all 24 bioenergy villages 80 905 MWh of electricity and 295 638 MWh of heat would be produced. The possible consumption of heat is low if the author assumes that a half of households are heated with natural gas and only a half use renewable sources. The greatest potential for transmission from natural gas to renewable sources has Riga planning region where there are most of towns complying with the criteria.

The obtained decrease in GHG emissions 44 463 t CO<sub>2eq</sub> a year on the total amount produced in the sector of energy is insignificant. Comparing to the

amount of 7197 t CO<sub>2eq</sub> of GHG produced in the sector of energy in 2011, the economy is 0.62% of this amount. The bioenergy villages would create 1.62% increase in proportion of renewable energy sources in the proportion of primary energy resources which is a significant result in relation with the reachable 40% of renewable energy sources in the proportion of consumption of primary resources in 2020.

The value of import of Latvia in 2011 was 5 998 518 thousand LVL. The bioenergy villages would give the decrease of 0.14% of the value of import. If calculating together the product categories of import: natural gas, electricity, nitrogen, phosphorus, as well as potassium, 359 082 446 lats are needed to purchase them. Substituting a part of these products by the energy produced in bioenergy villages and the amounts of plant nutrients, the economy of the value of import of 2.31% is gained.

There are 2 423 231.1 ha of agricultural land from which 368 500 ha was uncultivated land in 2010 (Dubrovskis, 2012). The required land for the needs of bioenergy villages is 3 293 ha which is related to the change of usage, it should be allocated to the cultivation of maize silage, that would create only 0.89% of uncultivated agricultural land. To ensure the required substratum of cattle waste 27 180 units of cattle are required which would create 7.2% of number of cattle in 2009, for the maintenance of the cattle 29 877 ha of agricultural land or 8.1% of uncultivated agricultural land are needed.

An important condition in the establishment of bioenergy villages is the availability of resources; especially it is related to the raw materials of biogas – energy plants and liquid manure. The energy plants can be successfully cultivated in any region of Latvia; therefore, the only limiting factor in preparation of substratum from energy resources is agricultural land.

Comparing the size of uncultivated agricultural land with the required size of agricultural land for the establishment of bioenergy villages, it can be concluded that only 5.8% of total uncultivated lands of the land resources in the areas of mentioned towns would be necessary. There is no such area of 24 towns where the size of uncultivated agricultural land would be smaller limiting the establishment of bioenergy villages. If we assume that the lowest heating capacity is 5.27 kWh m<sup>-3</sup>, then cultivating these lands it is possible to obtain 2 708 764 kWh of electricity and 3 869 663 kWh of heat, which is 7.6 times more than is required in 24 towns.

The number of cattle required for the needs of establishment of bioenergy villages is sufficient and makes 35.4% of total number of cattle grown in the areas of 24 towns of Latvia. However, unlike the size of uncultivated agricultural lands, there are 6 areas of towns where the number of cattle is insufficient to apply the model of biogas production. Predominantly these areas are in the planning region of Riga: Inčukalna municipality, Ķekava municipality, Ikšķile municipality, Olaine municipality and Salaspils municipality, as well as Cēsis municipality – in the planning region of

Vidzeme. However, it does not mean that the heat produced in the biogas cogeneration stations could not be used because other resources (sewage sludge, manure of domestic birds and pigs, green mass etc.) The biogas cogeneration stations located in these areas would have to create the composition of biogas production substratum of a different kind which would slightly change the evaluation of the effect of the usage of produced biogas. It must be emphasised that the potential of biogas production in the nearest areas of these towns is much bigger than necessary to ensure the heat for inhabitants.

## CONCLUSIONS

1. **The substantiation of the usage of renewable energy** is determined by the necessity **to prevent the negative external effects (externalities)** created by the usage of fossil energy which provide loss for the society. The market controls the private costs of the production, but the task of politicians is to ensure the operation of the incurring of public expenses.
2. **The successful development of territory is related** not only to the application of the objective advantages of the region in the facilitation of wealth, but also to the decrease of created negative external effects and facilitation of the creation of positive external effects. A significant condition of the prevention of negative external effects in regions is **more valuable usage of local resources forming related relationships among local entrepreneurial units**. The conclusion is based on the idea of industrial symbiosis which has expanded and gained the shape of town symbiosis which is important ensuring the process of sustainability.
3. The establishment of bioenergy village can successfully ensure the demand for energy of a populated area applying **the facilitation of closer cooperation among inhabitants, energy producers, as well as farmers and foresters**. The bioenergy villages have confirmed their practical significance in ensuring sustainable development both in developing countries (India, China, Tanzania, Uganda) and developed countries (Germany, Finland, Sweden). Although **the unequivocal model of a bioenergy village** applicable in any region **does not exist**, however, the influencing factors can be identified: perspectives of development of a village or town, local primary energy resources, existing infrastructure, public support, state and regional environmental policy.
4. The solution of the dilemma of food and energy based on the insufficiency of land is that **the effective usage of land can be gained by the combined production of energy and food**. The total output of energy from energy plants and food crops is bigger than from cattle breeding or its combination with energy production. It is a theoretical

substantiation for biogas production from energy plants. At the same time the society is not ready to exclude the production of cattle breeding products, therefore, **the waste of cattle breeding must be combined with the production of energy from energy plants.**

5. **The EU countries have defined common objectives of the energy industry**, to decrease the amount of GHG emission for 20%, to increase the usage of renewable sources in the energy industry for 20% and to move forward to a common energy market. It is planned to achieve these objectives by 2020. However, **the practical strategy to achieve these objectives is in term of each member state**, it is determined by national peculiarities, availability of resources, policy interests of other fields (agriculture, forestry, regional development).
6. **Various researches have proved the positive importance of alternative energy in the decrease of GDP** and trade balance. GDP mutually positively influences the formation of capital, import of energy, production of renewable sources, but insignificantly influences the trade balance. The usage of renewable energy positively influences the import of energy which means that the renewable energy has no effect of substitute. **Basically every type of energy in different regions can have different results**; therefore, the usage of different types of energy must be evaluated in the particular territory including the evaluation of influence on import, GHG emissions and energy balance.
7. **The economic crises substantially influenced the facilitation policy of renewable sources in Latvia**, posing the questions on the capability of the society to pay for the facilitation policy of renewable sources. If we assume that the economics continued to develop, then the necessity to change the facilitation policy of renewable sources would not be that explicit. The implementation of alternative energy will happen comparatively easier in regions where the amount of external effects of the differentiation of energy prices will be respectively lower against the base income.
8. Comparing various cultivated energy plants as **possible substratum for biogas production, maize** should be particularly accentuated, **as well as galega, sunflower** and from perennials – **alfalfa**. Maize shows good indicators of actual cost by intensive production – 0.012 up to 0.014 LVL kWh<sup>-1</sup> depending on productivity. The significant amount of harvest of the maize – 52 000 kWh ha<sup>-1</sup> by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup> must be emphasised. Sunflower and galega also have high energy potential. Cost of energy unit of galega is only 0.009 LVL kWh<sup>-1</sup> and for sunflower – 0.011 LVL kWh<sup>-1</sup>. The cost of energy unit of alfalfa is 0.013 LVL kWh<sup>-1</sup> with overall very good energy gain from hectare.

9. **The optimal composition of substratum** in order to decrease energy costs, considering dry content, biogas output, as well as the actual cost of the type of substratum is **22% of maize silage and 78% of liquid manure**. The total costs of this type of substratum would be 0.057 LVL kWh<sup>-1</sup> of electricity. Using the components of the composition of biogas substratum as a restrictive factor of the support for energy production, it would be useful not to decrease the possible amount of substratum from energy plants under 25% of total amount of substratum. Applying such proportion of substratum, to produce **silage 0.0407 ha MWh<sup>-1</sup>** are needed, whereas for **cattle breeding** it is eight times more - **0.3286 ha MWh<sup>-1</sup>**. The intensification of biogas can be related to the increase of the importance of the energy plant in substratum, moreover the changes in land usage will not happen linearly.
10. Calculating **the energy balance for biogas production** which includes the energy needed for the cultivation of substratum and processing in cogeneration station, it was ascertained that the proportion of the obtained energy against the consumed energy is **1 against 6.38** by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> and **1 against 6.93** by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup>. Consuming one unit of energy, the energy is being produced seven times more. **The intensification of energy plant cultivation**, increasing the productivity to 50 t ha<sup>-1</sup>, **improves the efficiency of energy production** by 7.9%.
11. In accordance with the obtained balance of CO<sub>2</sub>, in the production of biogas from the substratum of maize additional 7.0 g CO<sub>2</sub> MJ<sup>-1</sup> by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> and 5.3 g CO<sub>2</sub> MJ<sup>-1</sup> by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup>, consequently **the intensification of energy plant cultivation reduces the amount of GHG emissions**. The proportion of created GHG emissions against the attracted CO<sub>2</sub> in the manner of photosynthesis is 1:0.94 or 1:0.96, basically, this process is close to neutral.
12. The major component of biogas production costs is the costs of biogas substratum (47.9%) and fixed costs (30.5%) where the greatest amount is made of the investment in the construction of the station. Dividing all production costs of the energy on one energy unit 0.076 LVL kWh of the useful energy are obtained. Dividing these costs on heat and electricity **0.084 LVL kWh<sup>-1</sup> of heat costs and 0.064 LVL kWh<sup>-1</sup> of electricity costs** are obtained. It means that without the financial support of the society the production of energy from biogas is expensive and cannot compete with conventional production units.
13. Following the content of the nutrients of digestate, its market value is 3.85 LVL t<sup>-1</sup>, but considering the additional transportation and scattering costs of 1.75 LVL t<sup>-1</sup> related to the bigger amounts in comparison with fossil fertilizers, then the market value of the digestate is 2.10 LVL t<sup>-1</sup>.



14. **The usage of digestate creates a positive effect** not only on the financial indicators of biogas farms, but also positively influences the environmental sustainability of the farm. **Substituting fossil fertilizers** with the produced digestate, **the economy of 41.04 LVL ha<sup>-1</sup> is gained** by the productivity of 30 t ha<sup>-1</sup> and the economy of 70.49 LVL ha<sup>-1</sup> by the productivity of 50 t ha<sup>-1</sup> or 16 to 20% **of the costs of the usage of fossil fertilizers**. Also it reduces the amount of GHG emissions by 7.0 g CO<sub>2</sub> MJ<sup>-1</sup>. The usage of digestate in fertilization of cultivated plants reduces the amount of GHG emissions in the atmosphere and the potential of global warming.
15. **The public support for alternative energy in Auce is relatively weak.** Only 22% are ready to pay more in order to facilitate the usage of alternative energy. This level of support is very similar to the support of the society in Latvia in general, 20% of inhabitants support the increase of alternative energy.
16. Employing Auce town as a modelling example of bioenergy village, it was ascertained that bioenergy village will ensure the economy of **1 792.74 t CO<sub>2eq</sub> of GHG emissions per year**, as well **in the national level 199 060.69 LVL will be economised**, which otherwise would be spent on imported resources.
17. Attributing the model of **bioenergy village** of Auce to **24 towns of Latvia** where there is the infrastructure of natural gas, 44 463 t CO<sub>2eq</sub> or **0.62% of the GHG emissions of energy industry would be economised**. Bioenergy villages in these towns **would create the increase of 1.62% of the proportion of renewable energy sources** in the proportion of primary resources. Bioenergy villages would decrease the value of imported energy and fertilizers by 8 282 353 LVL. **The size of agricultural land** related to the cultivation of substratum for energy production will be **3 293 ha or 2.12% of uncultivated agricultural land**. In general, establishing the model of bioenergy in 24 towns of Latvia, the created environmental and economic effects would positively influence local town, but in the national level the changes would be insignificant.
18. Considering all aforementioned conclusions, **the hypothesis of the Ph.D. thesis** – the production of alternative energy (biogas) positively influences the turnover of the resources of agricultural producers, as well as leaves beneficial influence on the environment and reduces the import of energy – **has been confirmed**. The alternative energy beneficially affects the balance of energy production, reduces the amounts of GHG emissions in comparison with fossil alternatives, increases the cycle of turnover of the surplus of agricultural products and production, and reduces the necessity for the import of energy and fertilizers.

## PROBLEMS AND THEIR SOLUTIONS

**Problem 1: The costs created by the negative external effects are not fully included in the usage of fossil resources; this creates unfair preconditions in the policy of price determination for alternative energy resources in the country, especially in relations to the usage of renewable sources.**

*Suggestions for the solution:*

1. The Ministry of Economics should support the incentives of the UN to achieve transnational agreement on the reduction of created external environmental factors to develop common compensation mechanism of external effects which could replace the Kyoto protocol.
2. The support should be included in the national policy of energy industry (ensuring the possibility to use transmission grids, qualifying for the reception of financial support) for local incentives in preventing the negative external effects, among them – in the establishment of bioenergy villages and household participation in the usage of alternative energy.
3. The Ministry of Economics should prohibit the entrepreneurs to qualify for financial state support in the usage of fossil energy, except the establishment of base-load power.

**Problem 2: The electricity produced in biogas cogeneration stations where the agricultural products are used as substratum is more expensive in comparison with the average market price in Latvia; and it impedes a wider usage of this energy without any specific ways of support.**

*Suggestions for the solution:*

1. The institutions of LUA should continue the research on the intensification of cultivation of cultivated energy plants and implementation of new more productive sorts of cultivated plants, as well as their suitability in different types of soil in Latvia.
2. The Ministry of Environment Protection and Regional Development and the Ministry of Agriculture should facilitate the processing of the substratum of cattle breeding into biogas considering the restrictions of transportation, environmental and economic restrictions.
3. It is important to continue the research in agricultural science which would allow determining precisely the changes of the content of soil nutrients and their influence on the environment in long-term related to the usage of digestate, which would also allow determining more precisely the amounts per unit of land as well as specifying the methods of calculation in the usage of digestate.

4. The institutions of the Ministries of Agriculture and Economics should create a common data base on the characteristic indicators of biogas usage: power load, applicable substratum, employed personnel etc.

**Problem 3: Bioenergy villages favourably influence the agricultural production, the development of territories, however, the theoretical potential of the usage of heat of biogas cogeneration is bigger than it is possible to consume in the heating of households in towns.**

*Suggestions for the solution:*

1. The municipalities should promote the establishment of bioenergy villages in their territory; they have to: analyse the available resources and the demand for and supply of energy, identify the stakeholders, and inform the public and entrepreneurs about such possibilities.
2. The republican cities should develop the combined versions of energy supply where the part of electricity and the part of heat would be ensured by the renewable sources.
3. The Ministries of Economics and Agriculture should develop the system of grants that would facilitate the interest of the enterprises of energy supply, among them the owners of the stations of biogas cogeneration, and municipalities in the development of common energy supply projects.
4. The Ministry of Economics should facilitate the usage of heat by the mechanism of the obligatory purchase tariff of electricity – determining the amount of the support tariff so that the usage of heat is an objective necessity.
5. LUA should continue the research on the possibilities of the usage of the heat of biogas cogeneration for commercial purposes, for example, greenhouses, fish pools etc.