



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS INSTITUTAS**

Tomas Macijauskas

**ŠIAUDŲ ENERGIJOS REGENERAVIMO EFEKTYVUMO
DIDINIMAS, MAŽINANT POVEIKĮ APLINKAI**

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Irina Kliopova

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS INSTITUTAS

BAIGIAMOJO PROJEKTO PAVADINIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Aplinkos apsaugos vadyba ir švaresnė gamyba
(kodas 621H17002)

Vadovas

Doc. dr. Irina Kliopova

Recenzentas

Doc. dr. Jolita Kruopienė

Projektą atliko

Tomas Macijauskas

KAUNAS, 2016



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Aplinkos inžinerijos institutas

(Fakultetas)

(Studento vardas, pavardė)

Aplinkos apsaugos vadyba ir švaresnė gamyba, 621H17002

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Šiaudų energijos regeneravimo efektyvumo didinimas, mažinant poveikį aplinkai“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

20 _____ m. _____ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Tomo Macijausko**, baigiamasis projektas tema „Šiaudų energijos regeneravimo efektyvumo didinimas, mažinant poveikį aplinkai“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

TURINYS

LENTELIŲ SĄRAŠAS	5
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	6
SANTRUMPOS.....	7
SANTRAUKA.....	8
SUMMARY	9
ĮVADAS.....	10
1. ŠIAUDŲ, KAIP ENERGIJOS ŠALTINIO APŽVALGA	12
1.1. Biomasės, kaip atsinaujinančios energijos išteklių naudojimas Lietuvos energetikoje	12
1.2. Šiaudų cheminė sudėtis ir fizikinės savybės.....	13
1.3. Šiaudų kuro potencialas Lietuvoje.....	14
1.4. Šiaudų kuro paruošimo būdai	17
1.5. Šiaudų kuro naudojimo privalumai	20
1.6. Technologijos, taikomos šiaudų kuro energijos gamybai.....	22
1.7. Pramoninė simbiozė	25
2. ENERGIJOS EFEKTYVUMO DIDINIMO GALIMYBIŲ ĮVERTINIMO NAUDOJAMI METODAI 27	
2.1. Skaičiavimų metodikos.....	29
3. ŠIAUDŲ ENERGIJOS EFEKTYVUMO DIDINIMO GALIMYBĖS IR JŲ ĮVYKDOMUMO ANALIZĖS REZULTATAI	33
3.1. Šiaudų energetinio potencialo regeneravimo metodų lyginamoji analizė	33
3.2. ŠG prevencinio metodo – žemės ūkio atliekų (šiaudų) antrinio panaudojimo galimybių įvertinimas (ūkininko lygmenyje).	39
3.3. Pramoninės simbiozės ir Švaresnės gamybos metodų taikymas energetikos sektoriuje	48
IŠVADOS	56
LITERATŪROS SARAŠAS	57
PRIEDŲ SARAŠAS	64

LENTELIŲ SĄRAŠAS

- 1.1.1 lentelė. Žemės ūkio atliekų, kaip kuro suvartojimas įvairiuose Lietuvos ūkio sektoriuose, 2014 m.
- 1.2.1 lentelė. Šiaudų drėgmės kiekis ir grynasis šilumingumas.
- 1.2.2 lentelė. Šiaudų kuro kaloringumo priklausomybė nuo drėgmės.
- 1.4.1 lentelė. Granulių gamybos procesuose sunaudojamos energijos poreikių palyginimas.
- 1.5.1 lentelė. Išmetamų teršalų iš kurą deginančių įrenginių normos. Sudaryta remiantis LAND 43-2013
- 1.5.2 lentelė. Teršalų kiekis dūmuose deginant šiaudus.
- 3.1.1 lentelė. Granulių gamybos įrangos komplekto dalių galingumas ir našumas.
- 3.1.2 lentelė. Energijos sąnaudos pagaminti 100 MWh šilumos energijos, deginant šiaudų ritinius bei šiaudų granules (lyginamosios analizės rezultatai)
- 3.2.1 lentelė. R tipo šiaudų ryšuliais kūrenamo katilo techniniai duomenys.
- 3.2.2 lentelė. Šiaudų katilo ir papildomų priedų preliminarios kainos.
- 3.2.3 lentelė. Gamtinių dujų katilo pakeitimo į šiaudų ritinių katilą ekonominis įvertinimas.
- 3.2.4 lentelė. Akmens anglies katilo pakeitimo į šiaudų ritinių katilą ekonominis įvertinimas.
- 3.2.5 lentelė. Dyzelinio kuro katilo pakeitimo į šiaudų ritinių katilą ekonominis įvertinimas
- 3.2.6 lentelė. Iškastinio katilo pakeitimo į AEI - šiaudų katilą aplinkosauginio įvertinimo lyginamosios analizės rezultatai.
- 3.3.1 lentelė. UAB „Pakruojo Šiluma“ Dvaro katilinės charakteristika 2014 – 12 – 31.
- 3.3.2 lentelė. Heizomat RHK 504 katilo duomenys.
- 3.3.3 lentelė. Šiaudų katilo ir papildomų priedų preliminarios kainos.
- 3.3.4 lentelė. Gamtinio dujų katilo pakeitimo į šiaudų granulių katilą aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas.
- 3.3.5 lentelė. UAB „Pakruojo šiluma“ Gamtinių dujų katilo pakeitimo į šiaudų katilą aplinkosauginio įvertinimo rezultatai.

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.3.1 paveikslas. 2004 m. šiaudų derliaus pasiskirstymas.

1.3.2 paveikslas. Lietuvoje susidarantis šiaudų kiekis.

1.3.3 paveikslas. Šiaudų regioninis pasiskirstymo procentinis potencialas.

1.3.4 paveikslas. skirtingos kuro rūšies suvartojimo ateities prognozė.

1.4.1 paveikslas. Šiaudų surinkimo ir transportavimo modelis.

1.4.2 paveikslas. Šiaudų ryšulių ir šiaudų granulių gamybos sistemos ribos.

1.4.3 paveikslas. Kuro iš šiaudų ir žolinių augalų ruošimo etapų schema.

1.7.1 paveikslas. Pramoninės simbiozės modelis.

2.1 paveikslas. Darbe naudojami šiaudų energijos regeneravimo efektyvumo didinimo galimybių įvertinimo etapai bei taikomi metodai.

3.2.1 paveikslas. R tipo katilas 30 kW.

3.3.1 paveikslas. UAB „Pakruojis šiluma“ dvaro katilinės medžiagų ir energijos balansas, 2015 m.

3.3.2 paveikslas. Šilumos energijos gamybos principinė schema (kairėje – esama situacija, dešinėje – siūloma).

SANTRUMPOS

AAI – aplinkos apsaugos indikatorius

AAV – aplinkosauginis veiksmingumas

AEI – atsinaujinantys energijos ištekliai

AT – atsipirkimo trukmė

BSA – biologiškai skaidi atlieka

CO (A) – anglies monoksidas

CO₂ (A) – anglies dioksidas

DLK – didžiausia leidžiama koncentracija

ES – Europos sąjunga

GPGB – geriausias prieinamas gamybos būdas

KDĮ – kurą deginantys įrenginys

LOJ – lakieji organiniai junginiai

n. k. – naudingo koeficientas

N₂O (A) – azoto dioksidas

NO_x (A) – azoto oksidai

PŪV – planuojama ūkinė veikla

SO₂ (A) – sieros dioksidas

ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos

ŠG – švaresnė gamyba

TIPK – taršos integruota prevencija ir kontrolė

Tne – naftos ekvivalentas

VŠK – vandens šildymo katilas

Macijauskas, Tomas. Šiaudų energijos regeneravimo efektyvumo didinimas, mažinant poveikį aplinkai. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Irina Kliopova; Kauno technologijos universitetas, Aplinkos inžinerijos institutas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologiniai mokslai, bendroji inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: šiaudai, švaresnė gamyba, poveikis aplinkos orui, pramoninė simbiozė, energija, efektyvumas.

Kaunas, 2016. 66 p.

SANTRAUKA

2011 metais šiaudų kuro potencialo išnaudota tik 1,1 %. 2012 metais šiaudų kiekis buvo didžiausias ir siekė virš 4 mln. t. Įvertinta, kad trečdalį susidariusių šiaudų būtų galima panaudoti energetinėms reikmėms t. y. apie 1,32 mln. t. Sudeginus šį kurą būtų išgauta 441 ktne energijos.

Darbo tikslas: įvertinti šiaudų energijos regeneravimo efektyvumo didinimo galimybes, mažinant poveikį aplinkai.

Šiaudų regeneravimo efektyvumui nustatyti naudojama šiaudų kuro lyginamoji analizė. Tikslui pasiekti atliekama lyginamoji analizė – vertinamos energijos sąnaudos (MWh), reikalingos pagaminti 100 MWh šilumos energijos, deginant šiaudų granules ir šiaudų ritinius. Vertinimo ribos: nuo kuro gamybos iki šiluminės energijos gamybos.

Tyrimo metu pasiūlytos trys alternatyvos ūkininko lygmenyje: naudojamų gamtinių dujų, akmens anglies ir dyzelinio kuro katilų pakeitimas į šiaudų katilus. Ketvirtoji alternatyva siūloma pramoniniame lygmenyje: įmonėje UAB „Pakruojo šiluma“ naudojamą gamtinių dujų katilą siūloma pakeisti į šiaudų granulėmis kūrenamą katilą. Alternatyvų įgyvendinimui pasirinkta atlikti įvykdimumo analizę: techninę, aplinkosauginę ir ekonominę. Analizė atlikta sudarius energijos ir medžiagų balansus, pritaikius švaresnės gamybos (ŠG) koncepciją ir pramoninės simbiozės principus, įvertinus aplinkos apsaugos indikatorius.

Lyginamosios analizės metu nustatyta, kad šiaudų granuliavimas iš šiaudų, surinktų 50 km spinduliu nuo katilinės, nėra efektyvus. 100 MWh šiluminės energijos, išgaunamos iš šiaudų granulių, pagaminimui suvartojamas bendros energijos kiekis yra 2 kartus didesnis, nei tokio pačio kiekio energijos išgavimui iš šiaudų ritinių. Nustatyta, kad šiaudų kuras, pagal energijos regeneravimo koeficientą, prilygsta pjuvenų biokurui.

Išanalizavus visas ŠG alternatyvas nustatyta, kad įdiegus šiuos pasiūlymus padidėtų tiek aplinkosauginė, tiek ekonominė nauda. Pirmosios ŠG alternatyvos metu poveikis aplinkos orui sumažėtų 97,9 %. Elektros sąnaudos šiluminės energijos gamyboje sumažėtų 27,3 %. Apskaičiuota, kad siūlomas šiaudų katilo projektas ūkininkui atsipirktų iki 2 metų. Antrosios ŠG alternatyvos metu kuro sąnaudos sumažėtų 7,94 %, poveikis aplinkos orui sumažėtų 98,9 %. Projektas ūkininkui atsipirktų per 4,6 metus. Trečiosios alternatyvos metu, poveikis aplinkos orui sumažėtų 98,3 %. Elektros sąnaudos šiluminės energijos gamyboje sumažėtų 42,9 %. Projekto investicijos atsipirktų per 1,6 metus.

Ketvirtosios alternatyvos atveju nustatyta, kad dėl padidėjusio katilo n. k. kuro sąnaudos sumažėtų 15,2 %. Poveikis aplinkos orui sumažėtų 97,9 %. Elektros sąnaudos šiluminės energijos gamyboje sumažėtų 38,82 %. Apskaičiuota, kad siūlomas šiaudų katilo projektas įmonei atsipirktų per 2,4 metus.

Macijauskas, Tomas. Improving energy recovery from the straw for the decreasing environmental impact/ supervisor assoc. prof. Irina Kliopova. Institute of Environmental Engineering, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological Sciences, General Engineering.

Key words: straw, cleaner production, impact for atmosphere, industrial symbiosis, energy, efficiency.

Kaunas, 2016. 66 p.

SUMMARY

In 2011 only 1.1 % of straw fuel potential was used. In Lithuania the total and heretofore the largest amount of straws collected in 2012 was 4 mln. t. One third of this amount is recommended to be exploited for energy needs, i.e. from approximately 1.32 mln. t. of straw fuel, 441 ktoe energy can be obtained. The aim of this research is to evaluate the maximisation of energy recovery from the straw for the decreasing environmental impact.

To evaluate the efficiency of straw regeneration the comparative straw fuel analysis is used. To fulfil the aim of this research the comparative analysis is used, i.e. the input of energy (MWh) required to produce 100 MWh heat energy from the incineration of straw pellets and straw rolls is evaluated.

In this research three alternatives at farmer level are suggested: by natural gas, coal and diesel fuel operating boilers are replaced into straw boilers. The fourth alternative is suggested at industrial level: by natural gas operating boiler in PLLC "Pakruojis šiluma" is suggested to be replaced with straw pellet boiler. For the implementation of these alternatives the feasibility studies (technical, environmental and economic) are chosen. In order to carry out the feasibility studies the balance of energy and material was made, the concepts of cleaner production and industrial symbiosis were applied, the indicators of environmental protection were evaluated.

It is identified that the pelleting of straws collected 50 km circumference from boiler plant is inefficient. In order to produce 100 MWh heat energy from straw pellets the total amount of energy needed is double in comparison to heat energy production from straw rolls. It is identified that straw fuel, according to energy regeneration ratio, corresponds the sawdust biofuel.

According to the analysis, if all alternatives were applied, the environmental and economic benefit would be obtained. In case of first alternative the impact for atmosphere would decrease by 97.9 %. Electricity input required for the production of heat energy would decrease by 27.3 %. It was evaluated that suggested alternatives at the farmer level would buy off in 2 years. In case of second cleaner production alternative fuel input would decrease by 7.94 %, the impact for atmosphere would decrease by 98.9 %, the alternative would buy off in 4.6 years. In case of the third alternative the impact for atmosphere would decrease by 98.3 %. Electricity input would decrease by 42.9 % and the alternative would buy off in 1.6 years.

In case of fourth alternative it was identified that due to the increase of boiler's efficiency ratio, fuel input would decrease by 15.2 %. The impact for atmosphere would decrease by 97.9 % and the electricity input required for the production of heat energy would decrease by 38.82 %. This alternative for the company would buy off in 2.4 years.

ĮVADAS

Darbo aktualumas. Sparčiai vystantis pasaulio ekonomikai, energijos poreikis vis didėja, o tradiciniai energijos ištekliai yra riboti. Nežinomos anglies, naftos, dujų atsargos yra palaidotos giliai po žeme. Naujų resursų identifikavimas tampa vis brangesnis. Be to, globalinio atšilimo krizė turi tiesioginį poveikį žmogaus gyvenimo kokybei. Tokiomis sąlygomis perėjimas prie atsinaujinančios energetikos lemtų naujų technologijų infrastruktūros plėtrą bei išgaunamos energijos kaštų mažinimą. Atsinaujinantys energijos ištekliai (toliau AEI) yra vietiniai, neteršiantys aplinkos ir beveik neišsenkantys. Per pastaruosius 50 metų anglies dioksido koncentracija atmosferoje padidėjo 30 %. Dėl iškastinio kuro deginimo, per pastaruosius 100 metų vidutinė žemės paviršiaus temperatūra padidėjo apytikriai 0,6 ° C (Herbert, Krishnan 2016).

Pagal Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą 2009/28/EB (2013), biomasės sąvoka apibūdinama kaip: „biologiškai skaidi biologinės kilmės produktų, atliekų ir liekanų, gaunamų žemės ūkyje (įskaitant augalinės ir gyvulinės kilmės medžiagas), miškų ūkyje ir susijusiose pramonės šakose, įskaitant žuvininkystę ir akvakultūrą, dalis, taip pat biologiškai skaidi pramoninių ir buitinių atliekų dalis“. Biomasė yra pirminis energijos šaltinis. Ši, viena iš labiausiai paplitusių atsinaujinančių energijos formų, nesukelia šiltnamio efekto.

Lietuvoje iškastinio kuro resursai yra riboti. Remiantis Lietuvos statistikos departamento paskelbtais 2014 metų duomenimis, Lietuvoje deginama biomasė sudarė 84,7 % iš atsinaujinančių energijos šaltinių išgaunamos energijos. Mūsų šalyje iškastinio kuro ištekliai yra riboti, todėl esame priklausomi nuo kitų šalių. Norėdama gauti žaliavos, Lietuva privalo importuoti kurą iš jį eksportuojančių šalių. Lietuva, nuo Europos Sąjungos valstybių atsinaujinančios energetikos plėtros tempų, kol kas atsilieka. Nepaisant to, jog Norvegija nepriklauso ES, atsinaujinantys energijos ištekliai 2013 m. pagal Eurostat'o duomenis (2015 m.) siekė net 65,5 % galutinio energijos suvartojimo, antrąją vietą užėmė Švedija – 52,1 %, trečią vietą Latvija – 37,1 %. Lietuva užėmė 8 vietą – atsinaujinantys energijos šaltiniai sudarė 17,2 % galutinio energijos suvartojimo.

Pagal Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą 2009/28/EB (2013), Lietuva, siekdama įgyvendinti tarptautinius įsipareigojimus, privalo padidinti atsinaujinančių energijos šaltinių naudojimą. Tokios energijos kiekis 2020 metais turi sudaryti ne mažiau nei 23 % galutinės energijos. Naudodama atsinaujinančius energijos šaltinius, Lietuva yra taip pat įsipareigojusi centralizuotai teikiamos šilumos dalį padidinti iki 60 %. Pagal nacionalinės šilumos ūkio plėtros 2015–2020 metų programą (2015), 2013 metais Lietuvoje biokuro buvo panaudota apie 1 mln. tne. Efektyviai panaudojus biomasės potencialą Lietuvoje iki 2021 metų būtų panaudota apie 1,8 mln. tne biomasės. Šį potencialą sudarytų: apie 350 tūkst. tne malkinės medienos, 240 tūkst. tne kirtimo atliekų, 320 tūkst. tne medienos apdirbimo atliekų, 170 tūkst. tne medienos iš baltalksnynų kirtimų, 78 tūkst. tne iš jaunuolynų, 190 tūkst. tne iš energinių plantacijų ir 440 tūkst. tne šiaudų kuro.

Nacionalinėje atsinaujinančių energijos išteklių plėtros strategijoje (2010) yra numatyta kuo efektyviau vidaus ištekliais didinti AEI dalį šalies energijos balanse. Viena iš strategijos tikslų numatyta, jog iki 2020 metų biomasės katilinių įrengtoji galia turi padidėti nuo 21 MW iki 224 MW.

Kadangi žmonių poreikiai didėja, mažėja ištekliai, kurie galėtų šiuos poreikius patenkinti. Geriausias sprendimas – įgyvendinti efektyvią perdirbimo sistemą. Viena iš perspektyviausių ir didžiausią naudą teikiančių sistemų – atliekų perdirbimas ar atliekų konvertavimas į energiją. Įvertinus šiaudų kuro suvartojimą paaiškėjo, kad 2011 metais buvo išnaudota tik 1,1 % viso galimo potencialo (Verbickas ir kt. 2013). Lietuvoje, dalis visų

surinktų šiaudų yra panaudojama granuliu gamyboje, tačiau dėl mažos paklausos, pagamintos granulės yra eksportuojamos. Šiaudų biokurui ruošti 2013 metais buvo surinkta apie 130–140 tūkst. t. šiaudų (Nagevičius 2013).

Pagal Statistikos departamento duomenis, 2014 m. iš žemės ūkio atliekų buvo pagaminta 11,9 tne kietojo kuro. Tai sudaro tik 0,76 % viso Lietuvoje gaminamo kietojo kuro. Palyginus su visa žemės ūkyje panaudojama šilumos energija, šis procentas yra labai mažas. Didžioji dalis šiluminės energijos gaminama iš neatsinaujančių energijos šaltinių. Šilumos gaminimui panaudojama tik apie 1 % žemės ūkyje susidariusių atliekų (Kuro ir energijos balansas 2014). Įvertinus šiaudų potencialą energijai išgauti, žemės ūkio sektoriuje būtų galima panaudoti 100 % šiaudų kuro.

Naudojant šiaudų kurą didėtų vietinio kuro vartojimas ir mažėtų priklausomybė nuo importuojamo kuro. Vietinio kuro vartojimas padidintų šalies pajamas, sumažėtų priklausomybė nuo iškastinio kuro naudojimo. Atsiradus šiaudų kuro deginimo infrastruktūrai, taip pat būtų sukurta papildomų darbo vietų, o įvertinus aplinkosauginę naudą būtų sumažinama tarša. Tam, kad būtų pasiekti šie tikslai būtina modernizuoti, diegti švarias šilumos gamybos technologijas. Lietuvoje geografinės bei klimato sąlygos leidžia efektyviai naudoti vietinius atsinaujančius energetikos resursus, mažinti energetinę priklausomybę nuo kitų valstybių ir aplinkos taršą.

Tam, kad būtų išspręstos aplinkosauginės problemos su kuriomis susiduriame, reikia numatyti ilgalaikės perspektyvos veiksmus ir siekti darnaus vystymosi. Biomasės naudojimas – vienas efektyviausių sprendimų, kuris padės šaliai vystytis darnios plėtros principu.

Darbo teorinė ir praktinė nauda. Poveikio aplinkai mažinimui darbe siūlomi įvairūs metodai ir priemonės energetinio efektyvumo didinimui. Tyrimui pasirinkta šiaudų ritinių iš šiaudų granuliu alternatyvos, susijusios su AEI panaudojimu įvertinus techninę, aplinkosauginę ir ekonominę analizę. Tyrimas atliktas tiek individualios, tiek pramonės veiklos lygmenyje, siūlytos alternatyvos gali būti pritaikytos bet kuriose namų ūkio valdose, smulkiose ir stambiose pramonės įmonėse.

Darbo objektas: žemės ūkio atliekos – šiaudai.

Darbo tikslas: įvertinti šiaudų energijos regeneravimo efektyvumo didinimo galimybes, mažinant poveikį aplinkai.

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti šiaudų energetinį potencialą Lietuvoje ir jų naudojimo galimybes;
2. Atlikti naujausių mokslinių tyrimų apžvalgą, apžvelgti šiaudų energijos panaudojimo privalumus energetikos srityje.
3. Įvertinti šiaudų energijos regeneravimo efektyvumą (sistemos ribos – nuo transportavimo iki deginimo).
4. Pasiūlyti prevencines alternatyvas, didinančias šiaudų energijos regeneravimo efektyvumą ir atlikti alternatyvų įvykdomumo analizę (techninį, aplinkosauginį ir ekonominį įvertinimą).
5. Įvertinti siūlomų alternatyvų aplinkosauginį veiksmingumą.

1. ŠIAUDŲ, KAIP ENERGIJOS ŠALTINIO APŽVALGA

1.1. Biomasės, kaip atsinaujinančios energijos išteklių naudojimas Lietuvos energetikoje

Lietuva, perėmusi Skandinavijos šalių patirtį, biokurą pirmą kartą pradėjo naudoti tik 1994 metais. Taip atsirado pirmosios biokuro katilinės. Biokuro katilinės pasiteisino tuose regionuose, kur šilumos energija buvo gaminama iš mazuto. Biokuro pramonės plėtra įsitvirtino tik 1999 metais, pradėjus eksploatuoti stambesnes ir galingesnes katilines (Biekša ir kt. 2007).

Nacionalinės energetikos strategijos 48 straipsnyje (2007) pabrėžiama, jog tam, kad būtų maksimaliai panaudoti vietiniai energijos išteklių, sumažintas kuro importas, sukuriama naujos darbo vietos ir sumažinamos CO₂ emisijos, reikia panaudoti modernias ir šiuolaikiškas technologijas ir įgyvendinti šiaudų surinkimo, sandėliavimo, transportavimo ir šiaudų kuro panaudojimo centralizuoto šildymo tiekimo įmonėse logistikos sistemą. Taip siūloma parengti ir įgyvendinti programą, kuri numatytų greitesnį biokuro panaudojimą šilumos ir elektros energijos gamyboje. Apskaičiuota, kad šių tikslų įgyvendinimui reiktų skirti apie 17,38 mln. Eur. Pagal 2007 metais patvirtintą strategiją, Lietuvos valstybė rodė iniciatyvą šiaudų kuro infrastruktūros plėtroje ir palaikė AEI naudojimą. Ši strategija nustojo galioti 2012 metais.

Pagrindinis energetinės politikos žingsnis, kuris padėtų sumažinti šalies priklausomybę nuo importuojamo kuro – AEI plėtra. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvoje 2009/28/EB skatinama naudoti AEI energiją. Lietuvos tikslas – iki 2020 metų atsinaujinančios energijos kiekį bendrame energijos suvartojime padidinti iki 23 %. Lietuvos statistikos departamento paskelbtais duomenimis (2015), Lietuva šį tikslą pasiekė jau 2014 metais. Didžioji dalis atsinaujinančios energijos pagaminama iš biomasės (84,7 %). Nors biomasės kiekis, sunaudojamas energijai išgauti, yra gana didelis, tačiau šis potencialas galėtų būti žymiai didesnis. Daugiau nei 98 % Lietuvos energetikoje naudojamos biomasės sudaro medienos atliekos ir/arba iš jų pagamintas kietasis kuras. 2011 metais šiaudų kuro potencialo išnaudota tik 1,1 % (Verbickas ir kt. 2013). Lietuvoje šiluminės energijos gamybai daugiausia naudojamos tradicinės ir mažiausiai investicijų reikalaujančios technologijos – antrinis biokuro deginimas. Paskutinį dešimtmetį taip pat pradėjo populiarėti geoterminė, saulės ir vėjo energija.

Biokurui ruošti 2013 metais buvo surinkta apie 130–140 tūkst. t šiaudų, kurie dažniausiai transformuojami į kietąjį kurą – granules. Lietuvoje yra 21 oficialiai registruotas šiaudų granulių gamintojas (Nagevičius 2013). Lietuvoje šiaudų kuras energijos gamybai beveik nenaudojamas, visa produkcija yra eksportuojama. Šiaudai priskiriami prie kietųjų žemės ūkio atliekų.

Pagal Statistikos departamento duomenis, 2014 m. iš žemės ūkio atliekų buvo pagaminta 11,9 tne kietojo kuro. Tai sudaro tik 0,76 % viso Lietuvoje gaminamo kietojo kuro, tačiau šis kiekis yra 2 kartus didesnis, nei buvo pagamintas 2013 m. Kietųjų žemės ūkio atliekų, energetinėms reikmėms, Lietuvos pramonėje, žemės ūkyje ir paslaugų sektoriuje 2014 metais buvo sunaudota tik 6,7 tūkst. t (arba 2,4 tne). Palyginimui, malkų ir kurui skirtų medienos atliekų sąnaudos 2014 m. siekia 5510,3 tūkst. m³ arba 1080 tne (Kuro ir energijos balansas 2014).

1.1.1 Lentelė. Žemės ūkio atliekų, kaip kuro suvartojimas įvairiuose Lietuvos ūkio sektoriuose, 2014 m.

	Pramonės sektorius		Žemės ūkio sektorius		Paslaugų sektorius	
	Vnt/m	Tne/m	Vnt/m	Tne/m	Vnt/m	Tne/m
Biodujų iš skystųjų žemės ūkio atliekų	4,3 mln. m ³	2,1	-	-	-	-
Kietųjų žemės ūkio atliekų	0,4 tūkst. t	0,2	4,3 tūkst. t	1,5	2 tūkst. t	0,7
Malkų ir kitos medienos biokuro	404,1 tūkst. m ³	79,1	53,1 tūkst. t	10,4	165,6 tūkst. m ³	32,5

(Kuro ir energijos balansas 2014).

Šiaudų paklausos Lietuvoje nebuvimas lemia tai, jog, šiaudai tiesiog pūva laukuose, nes iš sovietinių laikų likęs šilumos ūkis nėra pritaikytas šiai biokuro rūšiai. Pagrindiniai vietinio kuro panaudojimo trikdžiai gali būti siejami su keliais faktais. Centralizuoto šilumos tiekimo įmonės ekonominiu požiūriu nėra motyvuotos ieškoti pigesnio kuro alternatyvų. Daugelis šilumos tiekimo įmonių didžiąją dalį katilų įrangę naudodamos ES lėšas. Šios lėšos buvo orientuotos į CO₂ mažinimą, tad šiaudų ar kito kuro panaudojimas nebuvo skatinamas. Dėl pigesnės elektros ir šilumos, importo investicijos į vietinio biokuro naudojimą dažniausiai neatsiperka arba atsiperka lėtai (Lukoševičius 2014). Lietuvoje naudojamos technologijos yra pasenusios, pastebimas aiškus energijos gamybos iš biomasės įrenginių trūkumas. Namų ūkiuose naudojami neefektyvūs ir susidėvėję katilai, kurie nėra pritaikyti šiaudų deginimui. Valstybinio audito dėl AEI potencialo naudojimo Lietuvoje duomenimis, išorinis AEI energetikos poveikis nėra įvertintas finansiškai, o tai gali trukdyti finansinių išteklių apskaičiavimui. Šie paskaičiavimai turėtų būti skiriami paskatinti AEI naudojimą ir plėtrą (Valstybinio audito ataskaita <...> 2010).

Matulionytė–Jarašūnė (2012) straipsnyje „Atsinaujinančių energijos išteklių vystymas energetinio saugumo kontekste“ paminėjo AEI Lietuvoje skatinančius veiksnius bei plėtros trikdžius. Pagrindiniai skatinantys veiksniai: technologinių tobulinimas, politiniai aspektai, naujų darbo vietų kūrimas. Pagrindiniai trikdžiai: ekonominiai (AEI yra brangesni, didesnės investicijos, ilgesnė atsipirkimo trukmė, palyginti su neatsinaujinančių energijos išteklių naudojimo technologijomis), teisiniai, susieti su pagamintos energijos perdavimu į tinklus. Tam, kad būtų sukurta aiškesnė teisinė sistema, turi būti siekiama palankių sąlygų energetikos bendrovių veiklai. Darnesnei AEI plėtrai reikalingas teisinės bazės tobulinimas ir supaprastinimas tam, kad teisinis reglamentavimas būtų aiškus ir nesudėtingas.

Biokuro infrastruktūrai reikalingos didesnės investicijos nei medienos biokuro infrastruktūrai, bet jeigu valstybė būtų suinteresuota šio biokuro plėtra, ir investavimo prioritetai būtų nukreipti ne tik medienos biokuro gamybai, bet ir šiaudų biokuro gamybai, rinkos subjektai būtų suinteresuoti šios kuro alternatyvos plėtra (Nagevičius 2013).

1.2. Šiaudų cheminė sudėtis ir fizikinės savybės

Vidutinis šiaudų ilgis siekia apie 35–100 cm. Šiaudai įvairiomis proporcijomis susideda iš C, H, O, N, Si, Fe, Al, Ca, Mg, Na, K, P, Cu, Mn, Zn elementų (Biricik et al. 1999). Didžiausią dalį sudaro C elemento dalis, kuri siekia iki 48,53 %. Kiek mažiau sudaro O dalis, kuri siekia 39,08 %. Likusios elementinės sudedamosios dalys yra pasiskirsčiusios mažesniais kiekiais. Nuo visų išvardintų elementų kiekio priklauso šiaudų kaip kuro šilumingumas – šilumos kiekis, išsiskiriamas šiems elementams jungiantis su aplinkos deguonimi degimo metu (Genutis 2005). Šiaudų savybės taip pat priklauso nuo auginimo laiko, oro sąlygų, tręšimo ir kitų faktorių.

Pavyzdžiui, chloro kiekis anksti nupjautuose javuose yra iki 4 kartų didesnis ir gali turėti didesnę įtaką šildymo katilo paviršiaus korozijai. Nustatyta, kad lakiųjų organinių junginių (LOJ) šiauduose yra mažiau, nei medienos kure (Vares et al. 2007).

Deginimui efektyviausia naudoti 15 % drėgmės šiaudus. Geriausia naudoti kviečių ir miežių šiaudus, kurių drėgmės kiekis yra mažiausias, o kaloringumas – didžiausias. Rapsų ir kukurūzų šiaudų naudojimas kuro gavybai nėra toks efektyvus, kadangi juos reikėtų papildomai džiovinti, o tam būtų naudojami papildomi energijos ištekliai (žr. 1.2.1 lentelę).

1.2.1 lentelė. Šiaudų drėgmės kiekis ir grynas šilumingumas.

Biomosės rūšis	Drėgmės kiekis %	Naudojamosios masės grynas šilumingumas, MJ/kg	Sausos masės grynas šilumingumas, MJ/kg
Kvietiniai šiaudai	15-20	12-14,1	17,3
Miežiniai šiaudai	15-22	12-13,9	16,1
Rapsų šiaudai	30-40	10,3-12,5	15,0
Kukurūzų šiaudai	45-60	5,3-8,2	16,8

(Owczuk, Kolodziejczyk 2011)

Šiaudų, laikomų pastogėje, drėgnis svyruoja nuo 15–20 %, peleningumas – apie 3–4 % (Owczuk, Kolodziejczyk 2011). Kitų autorių duomenimis šiaudų peleningumas svyruoja tarp 3–5% (Vares et al. 2007). Sandėliuojant šiaudus atviroje vietoje jų drėgmė didėja, nes šiaudai gerai sugeria vandenį. Didėjant drėgmei šiaudų šiluminė vertė proporcingai mažėja. Šiaudų kuro kaloringumo priklausomybė nuo drėgmės pateikta 1.2.2 lentelėje.

1.2.2 lentelė. Šiaudų kuro kaloringumo priklausomybė nuo drėgmės.

Drėgmė %	0	10	20	30	40	50
Kvietiniai šiaudai MJ/kg	17,8	15,79	13,78	11,77	9,76	7,75
Miežiniai šiaudai MJ/kg	17,1	15,16	13,22	11,28	9,34	9,4

(Biekša ir kt. 2007)

Pelenų lydumo charakteristikos turi didelę įtaką kurą deginančio įrenginio (KDI) darbui. Dėl pelenų lydumo gali prasidėti šlakavimasis ir ant katilo paviršiaus atsirasti sunkiai pašalinamų nuosėdų (Vares et al. 2007). Išvengti katilo šlakavimosi ir korozijos galima pasirinkus šiaudų deginimui pritaikytą katilą, kuris palaiko aukštą temperatūrą.

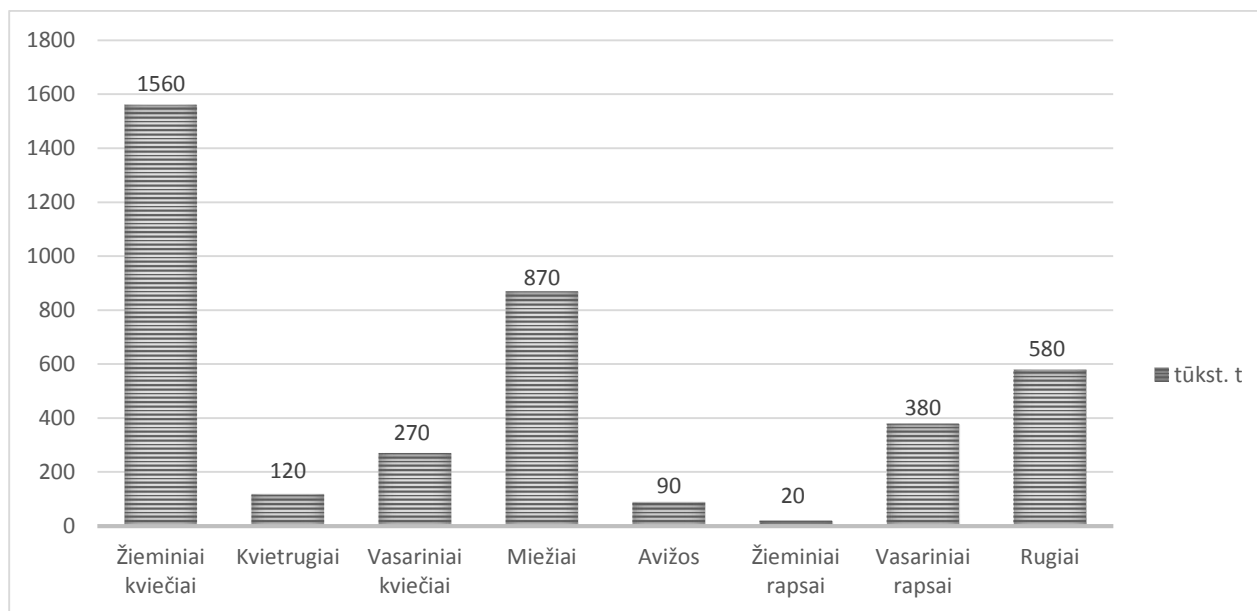
Šiaudų pelenai gali būti panaudoti žemės ūkyje įterpiant juos į dirvožemį. Šiaudų pelenuose yra gausu naudingųjų elementų, tokių kaip kalis ($155,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), fosforas ($15,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), magnis ($7,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), kalcis ($124,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$) ir kt. Taip pat pelenuose būna nedidelių sunkiųjų metalų kiekių ($\text{Cr} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cd} > \text{Hg}$), todėl prieš tręšimą reikia atlikti pelenų cheminės sudėties analizę (Piekarczyk et al. 2011). SiO_2 šiaudų pelenuose būna apie 55,32 % K_2O 25,60 % , CaO 6,12 % ir kitų elementų mažesnėmis dalimis (Kargbo et al. 2009).

Šiaudų pelenai prieš naudojimą turi būti persijojami per 425 mikronų sietą, taip yra pašalinami įvairūs nešvarumai. Šiaudų pelenų naudojimas dirvožemio tręšimui pagerina dirvožemio būklės stabilumą (Husain, Aggarwal 2015).

1.3. Šiaudų kuro potencialas Lietuvoje

Be medienos kuro galima naudoti ir kitas vietines biokuro rūšis: šiaudus, energetines žoles ir kt. Baltijos šalyse dažniausiai auginami rugiai, kviečiai, miežiai ir avižos, kurie gali būti panaudojami energijos gamybai. Didžiausią šiaudų dalį 2004 metais sudarė žieminių kviečių, miežių ir rugių šiaudai. Mažiausią dalį sudarė

žieminių rapsų ir avių derlius (Genutis 2006). Išsami detalizacija pateikta 1.3.1 paveiksle. Lietuvos regionuose vyrauja augalininkystės ūkiai, kuriuose daugiausia užauginama javų ir rapsų. Tokiuose ūkiuose susikaupia dideli kiekiai šiaudų – maždaug iki 6 t/ ha (Arlauskienė ir kt. 2009). Palyginus rugių energetinę vertę su šiaudų energetine verte, pastebimas apie 35 % mažesnis šiaudų kaloringumas. Kai šiaudų derlingumas yra 4 t/ha, o jų šilumingumas – 14,2 MJ/kg, iš vieno hektaro galima gauti apie 56,8 GJ šiluminės energijos (Genutis ir kt. 2008). Pagal kitą mokslinį straipsnį, iš vieno hektaro šiaudų galima išgauti apie 90 GJ energijos (Scholz et al. 2006).



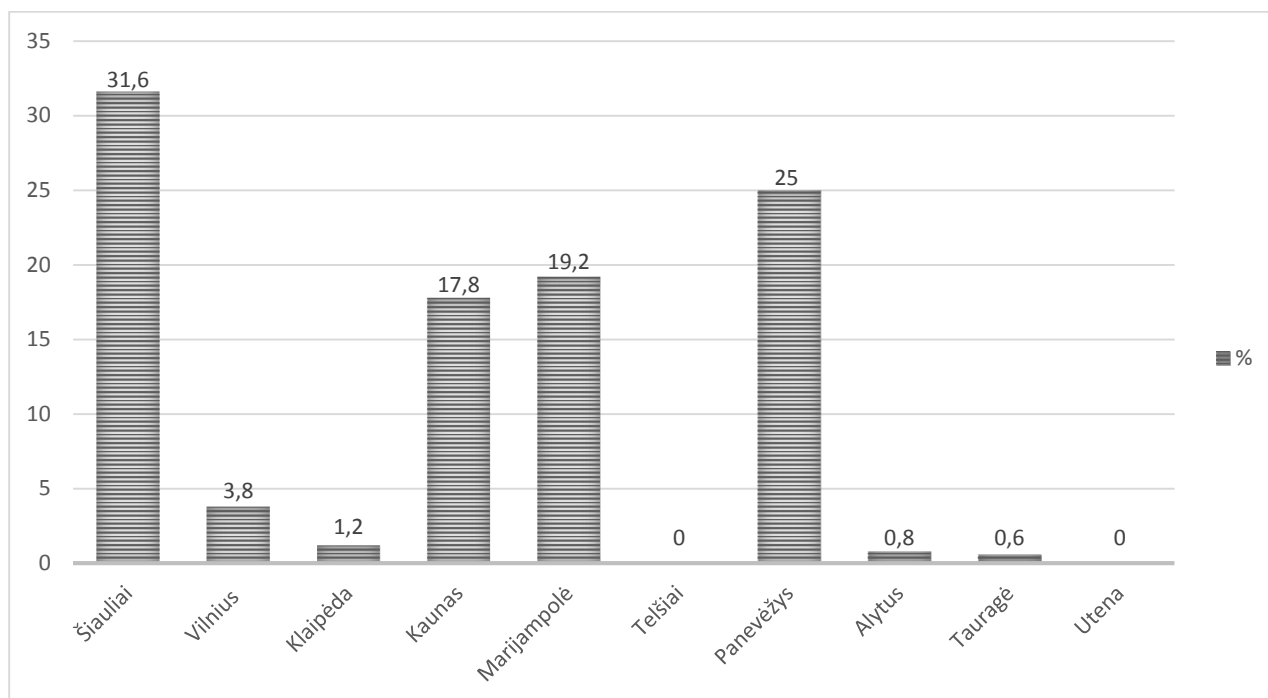
1.3.1 paveikslas. 2004 m. šiaudų derliaus pasiskirstymas (Genutis 2006).

Nuo 2012 m. Lietuvoje kasmet susidaro apie 4 mln. tonų šiaudų (žr. 1.3.2 paveikslą). Nors kiekis yra didelis, tačiau viso šio šiaudų kiekio negalima panaudoti energetinėms reikmėms, didžioji dalis šiaudų (apie 40–50 %) sunaudojama kraikui ar įterpiama atgal į dirvožemį kaip trąša (Mažeika ir kt. 2011). Didžiausias prognozuojamas šiaudų potencialas yra Panevėžio, Šiaulių, Marijampolės ir Kauno apskrityse. Telšių bei Utenos apskrityse šiaudų potencialas įvertintas 0, todėl šiuose regionuose statyti katilus bei plėtoti šiaudų pramonę nėra efektyvu (žr. 1.3.3 paveikslą)



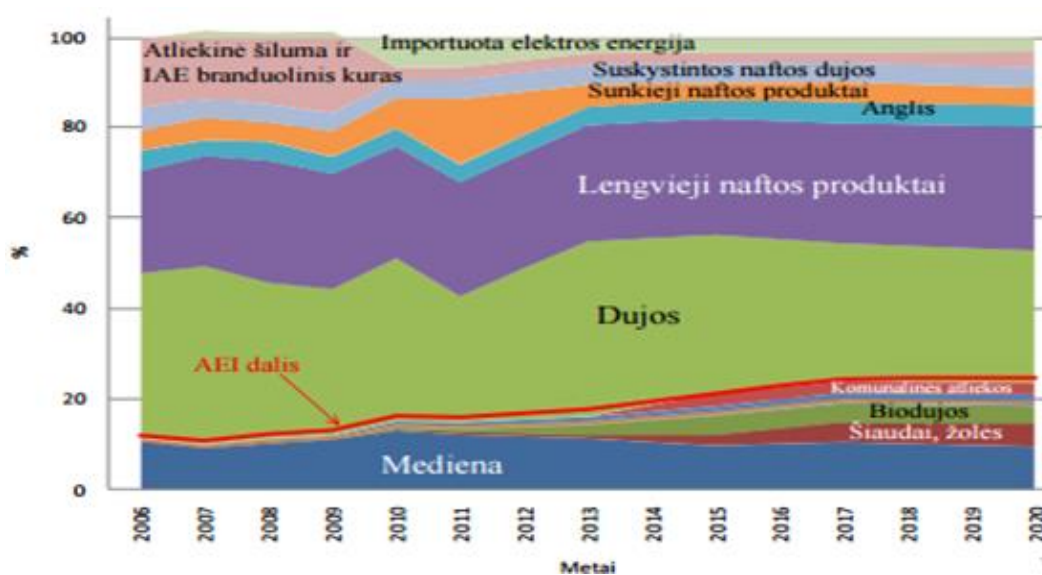
1.3.2 paveikslas. Lietuvoje susidarantis šiaudų kiekis (Nagevičius 2013).

Įvertinta, kad iki 1,32 mln. t susidariusių šiaudų būtų galima panaudoti energetinėms reikmėms. Sudeginus šį kurą būtų gaunama 441 ktne energijos. 2014 m. Lietuvoje pagaminta 1034,4 tne šiluminės energijos. Panaudojus šiaudų potencialą, galima būtų pagaminti iki 42,63 % Lietuvoje gaminamos energijos arba iki 62 % šilumos energijos, kuri yra centralizuotai tiekama į tinklus (Kuro ir energijos balansas, 2014).



1.3.3 paveikslas. Šiaudų regioninis pasiskirstymo procentinis potencialas (Genutis 2006).

Kompostavimas – efektyvus metodas, taikomas žemės ūkyje susidariusių atliekų reorganizavimui. Šiaudai yra antri pagal atliekų susidarymą žemės ūkyje ir dėl šios priežasties jie galėtų būti puikiai žaliava kompostavimui. Vis dėl to, mokslininkų atliktame tyrime nustatyta, kad šiaudus kompostuoti nėra efektyvu (Zhang et al. 2016). Šiaudų naudojimas tręšimui taip pat nėra efektyvus, nes šiaudai irimo procesui naudoja daug dirvožemio mineralinio azoto. Šią hipotezę patvirtino atlikti agrocheminiai bandymai (Mažeika 2011).

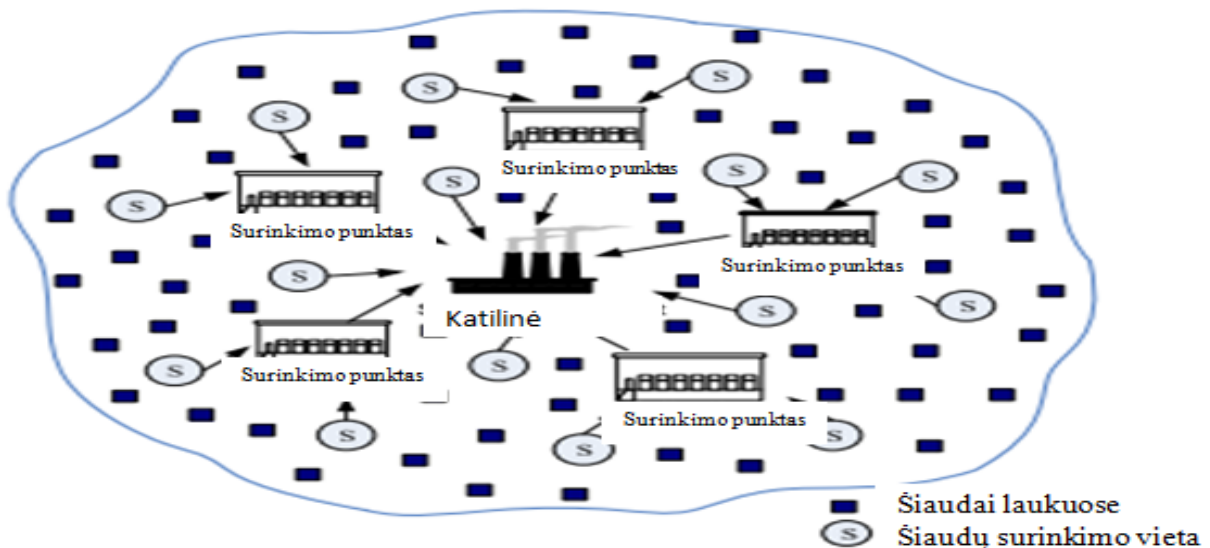


1.3.4 paveikslas. skirtingos kuro rūšies suvartojimo ateities prognozė (Galinis 2009)

Nuo seniausios šiaudais kūrenamos katilinės iki šiandieninių technologijų pastebimas pasyvus šiaudų kuro didėjimas. Vis dėl to, vystantis technologijoms ir didėjant pasiūlai, šiaudų kuro kiekis proporcingai didėja. Prognozuojama, kad 2020 metais bus sunaudojama apie 8 % (žr. 1.3.4 pav.) viso šalyje vartojamos energijos (Galiniš 2009). Auginamų javų kiekis vis didėja. Prognozuojama, kad iki 2020 metų šiaudų kiekis energetinėms reikmės gali išaugti iki 1,52 mln.t, tai prilygtų apie 508 ktne energijos (Verbickas ir kt. 2013).

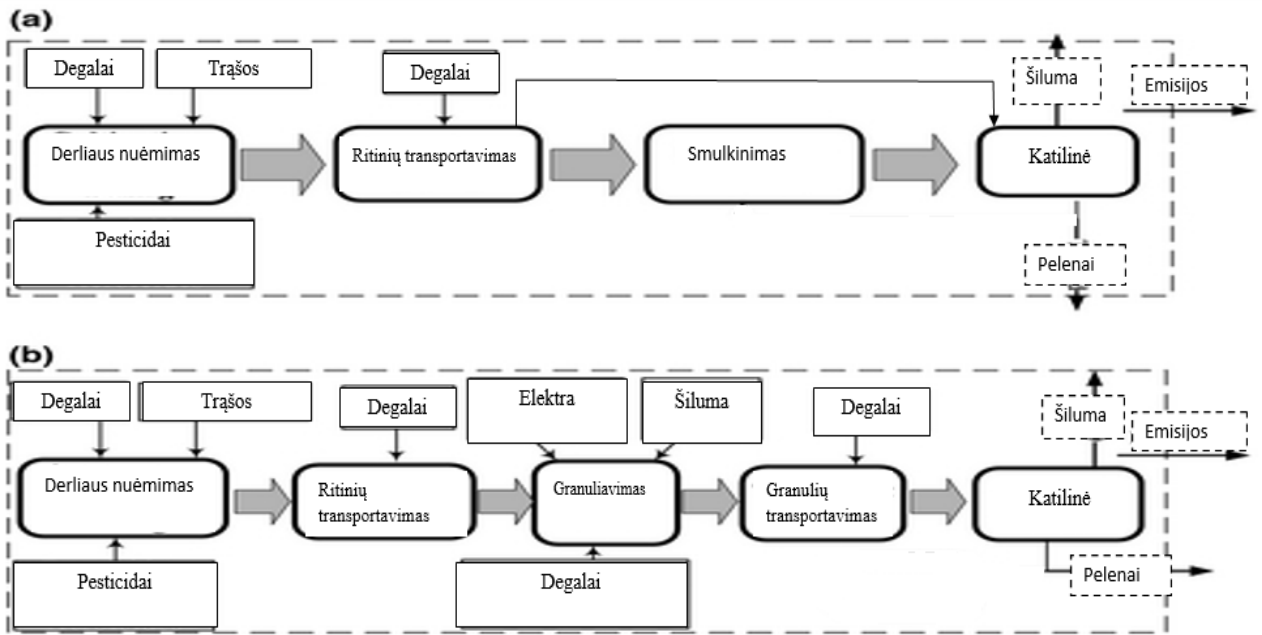
1.4. Šiaudų kuro paruošimo būdai

Šiaudų surinkimo ir transportavimo modelis iki katilinės yra pavaizduotas 1.4.1 paveiksle. Iš laukų šiaudai surenkami pagal esamą poreikį ir supresuojami. Supresuoti šiaudai transportuojami iki surinkimo punkto (ūkio). Iš surinkimo punkto šiaudai transportuojami iki katilinės, kur yra deginami ir išgaunama energija. Taip pat galimas atvejis, kai šiaudai yra surenkami iš laukų ir iš karto transportuojami iki katilinės. Surinkimo punktuose gali būti įdiegta granuliavimo įranga, sugrąžinti šiaudai transportuojami į katilines. Kadangi žaliavos kiekis yra kelis kartus sutankintas, palyginus su palaidais ar supresuotais šiaudais, šias granules galima lengvai eksportuoti.



1.4.1 paveikslas. Šiaudų surinkimo ir transportavimo modelis (Wen, Zhang 2015)

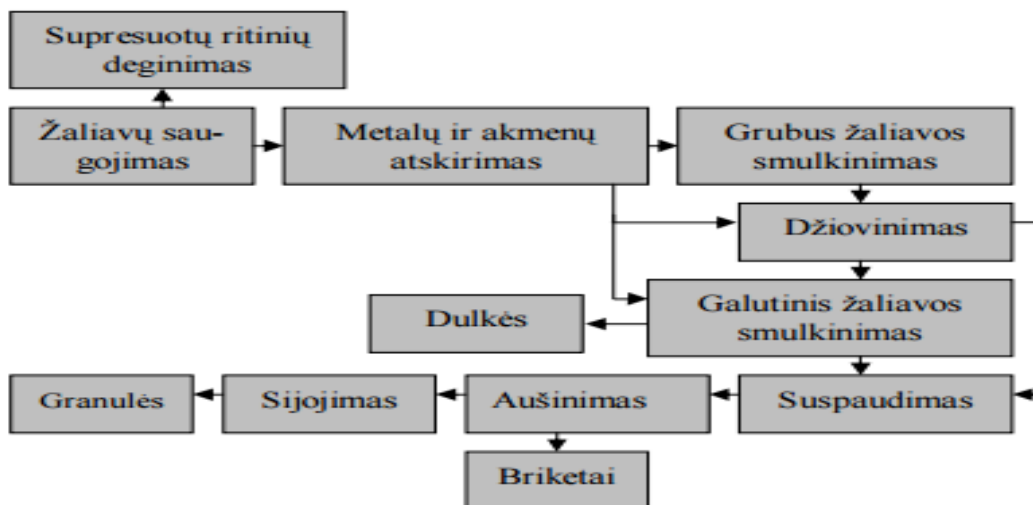
Šiaudų paruošimo deginimui grandinė apima visus etapus nuo auginimo iki galutinio šiaudų panaudojimo elektros energijai ar šilumos gaminimo. 1.4.2 paveiksle pateikti du pagrindiniai šiaudų paruošimo būdai energijai išgauti. Pirmuoju būdu šiaudai yra surenkami, supresuojami ir transportuojami iki katilinės, kur yra deginami. Esant poreikiui ir priklausomai nuo katilinės specifikacijos, šiaudų ritiniai gali būti susmulkinami ir paduodami į pakurą ne ritinio forma, o purškimo būdu. Antruoju būdu ritiniai transportuojami į granulių gamyklą, ten sudraskomi, suspaudžiami ir gaunamos granulės, kurios transportuojamos iki katilinės (Giuntoli et al. 2012).



1.4.2 paveikslas. Šiaudų ritinių ir šiaudų granulių gamybos sistemos ribos (Giuntoli et al. 2012).

Lietuvos mokslininkai, palyginę ritinių ir ryšulių šiaudų technologijas nustatė, kad ritiniams apvynioti reikėjo 2,3 karto mažiau raiščio. Taip pat nustatyta, kad stačiakampių ryšulių presas yra 1,8 karto našesnis, negu ritinių presas, tačiau galios sąnaudos 2,9 karto didesnės (Sakalauskas ir kt. 2012). Tam, kad būtų sumažintas suvartojamos elektros kiekis, būtina sumažinti stačiakampių ryšulių surinkimo, pakrovimo–iškrovimo ir transportavimo išlaidas. Įvertinus anksčiau paminėtus faktorius, šiaudai turtų būti sukami į ritinius, o ne į ryšulius. Taip būtų sumažinami energijos kaštai ir poveikis aplinkai, kita vertus, ilgėtų šiaudų rišimo į ritinius laikas.

Granulių gamyba susideda iš kelių procesų, kurie yra pavaizduoti 1.4.3 paveiksle. Be granulių gamybos, šiaudus taip pat galima naudoti briketų gamyboje. Briketų gamyba vyksta po aušinimo proceso. Paprasčiausias, elektros ar šilumos resursų nereikalaujantis būdas yra supresuotų ritinių deginimas tam skirtuose katiluose. Tipiška granuliuavimo sistema sudaryta iš šių etapų: pirminis smulkinimas, antrinis smulkinimas, džiovinimas, granuliuavimo malūnas, aušinimas ir pakavimas (Nolan et al. 2010).



1.4.3 paveikslas. Kuro iš šiaudų ir žolinių augalų ruošimo etapai schema (Biekša ir kt. 2007).

Šiaudų panaudojimo problema yra susijusi su mažu piltiniu tankiu, kuris nesupresuotuose šiauduose siekia 30–40 kg/m³. Dėl šios priežasties šiaudų transportavimas yra brangus. Taupant transportavimo kaštus šiaudai tiekiami dideliais supresuotais ritiniais, ryšuliais arba granulėmis (Vares et al. 2007). Surištų šiaudų į ritinius transportavimas yra apie 50 % pigesnis nei palaidų šiaudų transportavimas (Kargbo et al. 2009).

Supresuoti šiaudai būna 3 tipų (Žaltauskas 2008a):

- Maži ryšuliai. Ryšulių tankis vidutiniškai būna nuo 70 iki 90 kg/m³, masė siekia 12–15 kg.
- Šiaudų ritiniai. Ritiniai būna 1,2–1,8 m skersmens ir apytikriai nuo 1,2 iki 1,5 m ilgio. Pačio ritinio tankis svyruoja 90–130 kg/m³, masė 150–250 kg.
- Stačiakampiai ryšuliai. Ryšuliai būna 1,2 m pločio, 2,4 m ilgio, 0,7 m aukščio, tankis siekia 150 kg/m³, o masė – 300 kg.

Šiaudų tonos kaina ES sąjungoje svyruoja nuo 15,9 Eur/t (Lenkija) iki 30,6 Eur/t (Norvegija), ES vidurkis siekia apie 26,1 Eur/t. (Giuntoli et al. 2012). Pietų Europoje šiaudus surenkant 90 km spinduliu, surinkimo kaina vidutiniškai įvertinta apie 40 Eur/t: 6 Eur kainuoja supirkimas iš ūkininkų, 18 Eur presavimas į ritinius ir 12 Eur transportavimas iki katilinės (NL Agency 2013).

Aleksandro Stulginskio instituto mokslininkai nustatė, kad išvežti iš laukų vieną toną šiaudų papildomai kainuoja apie 17,38–23,17 Eur. (Nagevičius 2013). Į šią kainą įeina 9,27 Eur/t kainuojantis šiaudų presavimas į ritinius (Biekša ir kt. 2007). Lietuvoje palaidų šiaudų kaina gali siekti iki 30 Eur/t. Atsiranda ūkininkų, kurie šiaudus atiduoda ir už simbolines kainas. Kainos rinkoje labai svyruoja, todėl tikslią kainą įvertinti sunku. Rekomenduojamas žaliavos transportavimo atstumas nuo surinkimo punkto iki katilinės – iki 50 km. (Nolan et al. 2010). Supresuotos žaliavos transportavimui gali būti naudojamos savikrovės priekabos. Priekabomis, kurių keliamoji galia yra nuo 6 iki 17 tonų galima pervežti 6–16 ritinių. Apskaičiuota, kad vidutinės sąnaudos supresuotų šiaudų ritinių transportavimui yra apie 5 Eur/t (Biekša ir kt. 2007). Dėl mažo šiaudų tankio ir mažo naudingojo apkrovimo, transporto išlaidos gali sudaryti net iki 70 % visos biomasės paruošimo gamybai išlaidų (Nolan et al. 2010).

Dažniausiai yra smulkinamas visas ritinys. Šiaudų smulkinimas vyksta dviem etapais. Šiaudų smulkintuvai dažniausiai tinka tiek ritiniams, tiek ryšuliams smulkinti. Šiaudų smulkintuvai šiaudus susmulkina 10–15 cm ilgio stiebais. Antrajame etape šiaudai yra susmulkinami iki galutinio dydžio. Susmulkinti šiaudai būna apie 85 % mažesni nei granulės (Šiaudų granuliu gamybos technologijos 2016). Šiaudų džiovinimas prieš jų deginimą atliekamas retai, todėl šiaudų deginimo katilinėse džiovinimo technologijos diegiamos retais atvejais: pakanka natūralaus džiovinimo laukuose ar sandėliuose. Dažniausiai po derliaus nuėmimo ir palaikius šiaudus laukuose, jie pasiekia reikiamą deginimui drėgnumą (Vrubliauskas, Perednis 2012). Jei drėgmės kiekis yra per didelis, jie džiovinami specialiose džiovyklose (Biekša ir kt. 2007).

Pagrindinė granules rišamoji medžiaga yra ligninas. Medienos žaliavoje lignino visiškai užtenka granules suformuoti, tačiau šiauduose lignino kiekis yra mažesnis. Esant mažesniai rišančios medžiagos kiekiui reikalingas papildomas procesas. Tam, kad pasireikštų lignino rišančios savybės, granuliuavimo metu turi būti išlaikyta atitinkama temperatūra ir drėgnis. Dažniausiai yra panaudojamas garas, kurio temperatūra siekia iki 100 °C. (Biekša ir kt. 2007).

Airijoje atliktas tyrimas atskleidė, kad vienos tonos šiaudų granuliavimo kaina susideda iš žaliavos kainos 66 %, granuliavimo ir aušinimo įrangos 11 %, šiaudų smulkinimo įrangos 10 % ir personalo išlaidų 9 % (Nolan et al. 2010). Susmulkinta žaliava, turinti reikiamą drėgnį, transportuojama į granuliavimo įrenginį, kuriame šiaudų masė yra suslegiama ir praleidžiama per matricą. Granuliavimas šiaudų masės tankį padidina nuo 40–200 iki 600–800 kg/m³ (Said et al. 2015).

Po išspaudimo granulės būna karštos, temperatūra siekia iki 100 °C, todėl jos turi būti greitai atvėsintos iki +30 °C. Nuo suspaudimo temperatūros priklauso granulės stiprumas, esant mažesnei suspaudimo temperatūrai granulės tampa trapesnės (Stelte et al. 2012). Pagamintos kokybiškos granulės yra atskiriamos nuo nekokybiškų, dulkės gražinamos atgal į gamybą. Granulės pakuojamos į maišius (iki 1100 kg) arba gali būti pakuojamos įvairių dydžių pakais (po 13, 14, 15, 16, 20 kg) priklausomai nuo įmonės ir klientų poreikio (Šiaudų granulių gamybos technologijos 2016).

Remiantis 1.4.1 lentele pastebima, kad šiaudų granulėms pagaminti energijos reikia mažiausiai. Vis dėl to, būtina atsižvelgti į tai, kad šiaudų granulių kaina yra mažiausia palyginus su kitais AEI. Tam tikro ploto apšildymui šių granulių reikia daugiau nei medienos. Granulių gamybos įrangos eksploatacijos kaštai siekia apie 19,98–30.12 Eur/t (Biekša ir kt. 2007).

1.4.1 lentelė. Granulių gamybos procesuose sunaudojamos energijos poreikių palyginimas.

Energijos poreikis (kWh/t)	Pjuvenos	Šiaudai
Smulkinimas	10-20	10-30
Džiovinimas	0-400	0
Rišančios medžiagos, priedai	0-10	0-10
Granuliavimas	30-60	30-60
Aušinimas	5	5
Papildoma įranga	10-20	10-20
Viso:	55-515	55-125

(Biekša ir kt. 2007)

1.5. Šiaudų kuro naudojimo privalumai

Šiaudų kuro naudojimo privalumus galima sugrupuoti į tris kategorijas: aplinkosauginiai, ekonominiai ir socialiniai. Lyginat šiaudų kurą su iškastiniu kuru, sieros kiekiai yra pastebimai mažesni. Kadangi šiaudų pelenai turi daug kalcio, tai gali turėti įtakos SO₂ emisijų sumažėjimui, kadangi esantys kalcio junginiai sureaguoja su SO₂ ir SO₃ taip sudarydami kalcio sulfatą. Sieros kiekis gali priklausyti nuo daugelio faktorių: degimo temperatūros, kuro tipo, oro pertekliaus ir kt. (Vrubliauskas, Perednis 2012). Tyrimais nustatyta, kad elektros energijos gavyba iš šiaudais kūrenamų elektrinių, iš tiesų gali sumažinti šiltnamio dujų emisijas. Lyginant anglies ir šiaudų kurą, emisijos yra sumažinamos nuo 70 % iki 94 % (Giuntoli et al. 2012).

Danijoje įvertintas kviečių šiaudų naudojimo energetinėms reikmėms aplinkosauginis efektyvumas: lyginant su anglies kuru ar gamtinėmis dujomis, generuoja mažiau ŠESD, sumažėja NO_x emisijos. Kita vertus, galimas ir neigiamas poveikis: energijos gavybai naudojami šiaudai gali sukelti eutrofikaciją bei aplinkos rūgštėjimą (Herbert, Krishnan 2016).

Šiaudų ritinių ir granulių sukeliamas ŠESD poveikis, kuris yra lyginamas su iškastiniu kuru, šiuo atveju – anglimi. Lyginant ŠESD emisijas pastebimi žymiai didesni CO₂ kiekiai. Nors deginant šiaudus CO₂ degimo procese išsiskiria, tačiau susidaręs anglies dioksidas yra gamtinio anglies ciklo dalis, kuris neprideda prie

šiltnamio efekto. ŠESD emisijos susidaro šiaudus kultivuojant, transportuojant, granuliu gamyboje ir deginimo procesuose. Gaminant ir deginant šiaudų ritinius ŠESD emisijos svyruoja tarp 16 ir 26 gCO₂eq./MJ, o granuliu tarp 26 ir 36 gCO₂eq./MJ. Emisijos vertintos mažais transportavimo atstumais. Nustatyta, kad ŠESD emisijų susidaro daugiau gaminant ir transportuojant granules, nes norint pagaminti granules yra naudojama šilumos ir elektros energija, kuri sukelia netiesioginę atmosferos taršą. Granules gaminti yra naudinga eksporto atveju, nes tankis yra sumažinamas ir vienu metu galima transportuoti daugiau žaliavos, taip oro taršos emisijos išsilygina, nes granuliu tankis ir transportuojamos žaliavos kiekis yra didesnis (Giuntoli et al. 2012).

Teršalų, išmetamų iš KDI, ribines vertes reglamentuoja Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2013 metų balandžio 10 d. įsakymu Nr. D1-224 patvirtintos „Išmetamų teršalų iš kurų deginančių įrenginių normos LAND 43-2013“. Normos pateiktos 1.5.1 lentelėje.

1.5.1 lentelė. Išmetamų teršalų iš kurų deginančių įrenginių normos.

Kurų deginančio įrenginio nominali šiluminė galia, MW	SO ₂	NO _x	CO	KD	Standartinė O ₂ koncentracija, tūrio proc.
0,12 - 1	2000	750	Nenormuojama	800	6
1-20	2000	750	4000	700 (Esamas įrenginys) – 400 (Naujas įrenginys)	6
20-50	2000	750	1500 (Esamas įrenginys) – 1000 (Naujas įrenginys)	500 (Esamas įrenginys) – 300(Naujas įrenginys)	6

Sudaryta remiantis LAND 43-2013

Atlikus tyrimus su mažo galingumo katilais, nustatyta, kad deginant šiaudus, emisijos neviršija nustatytų leidžiamų normų (žr. 1.5.2 lentelę).

1.5.2 lentelė. Teršalų kiekis dūmuose deginant šiaudus.

Teršalai	Mechanizuoti katilai smulkiems šiaudams		Periodinio pakrovimo katilai
	mg/Nm ³	kg/MWh	mg/Nm ³
CO ₂	517939	1357	517939
CO	500-2000	5,240	1000-4000
SO ₂	170	0,445	170
NO _x	400	1,048	400
KD	150	0,393	200

(Žaltauskas 2002)

Įvertinus didesnės galios katilus (20–50 MW), galima teigti, kad oro emisijos ribinių normų taip pat neviršija. Danijoje „Avedøreværket“ katilinėje (35 MW), kurioje kasmet sudeginama apie 150000 tonų šiaudų, atliktu tyrimu nustatyta, kad didžiausi užfiksuoti CO išmetimai siekė tik 625 mg/Nm³, o NO_x tik 240 mg/Nm³ (Plant fact sheet 2010). Tai parodo, kad naujos šiaudų deginimo technologijos neviršija oro emisijų nustatytų verčių ir mažiau teršia aplinką. Šiaudų kuras yra ekologiškas. Visais atliktais tyrimais nustatyta, kad ribines normos nėra viršijamos. Nors CO₂ degimo procese išsiskiria, tačiau susidaręs anglies dioksidas yra gamtinio anglies ciklo dalis, kuris neprideda prie šiltnamio efekto. Degdami šiaudai taip pat išskiria nedidelius aplinkai pavojingo sieros dioksido kiekius (Denafas, Revoldas 2002).

Šiaudų kuro naudojimo energetikos ūkio sektoriuje ekonominis privalumas grindžiamas vietinių AEI naudojimu. Didėjant vietinio kuro naudojimui, mažėtų importuojamo kuro priklausomybė nuo kitų šalių. Pajamos

už sudegintą šiaudų kurą atitektų šalies ekonomikai. Lietuva taptų mažiau priklausoma nuo brangaus iškastinio kuro naudojimo.

Šiaudų kuro naudojimo energetikos ūkio sektoriuje socialinis privalumas susietas su naujų darbo vietų kūrimu, be to pagrindinė dalis jų būtų kuriama būtent kaimo vietovėse. Darbo užmokestis, gautas iš šių naujų darbo vietų, duotų papildomas pajamas vietinei ekonomikai.

1.6. Technologijos, taikomos šiaudų kuro energijos gamybai

Šiaudų deginimui yra reikalingi specialios konstrukcijos katilai, kurių gamyboje turi būti atsižvelgta į šio kuro ypatybes ir į tai, ar šiaudai deginami ritiniais ar smulkinti, ar granulėmis. Pats paprasčiausias deginimo būdas yra šiaudų ritinių deginimas periodinio deginimo katiluose. Šiame katile oras į degimo zoną paduodamas iš viršaus. Kita vertus, šiuo būdu sunku kontroliuoti paduodamą oro kiekį, nėra pasiekiamas aukštas deginimo efektyvumas. Sudėtingesnis, tačiau praktiškesnis deginimo būdas vyksta tuo metu, kai šiaudų ritiniai yra susmulkinami ir paduodami į katilą panaudojus purškimo metodą (Vares et al. 2007). Šiaudai taip pat gali būti maišomi su komunalinėmis atliekomis ar kitų rūšių biomase, pavyzdžiui, medienos skiedromis. Dar vienas mišraus kuro tipas gali būti gaunamas šiaudus sumaišius su anglimi, tačiau šis atvejis yra apribojamas dėl technologinių problemų, tokių kaip korozija ir šlakavimasis (Giuntoli et al. 2012).

Utenoje įsikūrusi įmonė UAB „Umega“, gamina kelių modifikacijų katilus centralizuoto šildymo sistemoms. Priklausomai nuo katilo modifikacijos, gali būti kūrenami apvalios ar stačiakampės formos šiaudų ryšuliai. Supresuoti šiaudų ritiniai gali būti deginami ir nesuardyti. Šiaudų ryšuliais dažniausia kūrenami iki 120 kW galios katiluose. Dažniau deginimui naudojami šiaudų ritiniai. Šiaudų ritiniais kūrenami 130–600 kW ir didesnės galios katilai. Naudingumo koeficientas siekia iki 87 % (Umega 2010). Kitas šiaudais kūrenamų katilų gamintojas – UAB „Slengiai“. Įmonėje gaminami paprastesnės konstrukcijos ūkininkų ūkiams skirti katilai. Dėl mažos rinkos ir nesamo poreikio Lietuvoje, katilų, pritaikytų šiaudų deginimui, gamyba ir pardavimas nevyksta. Užsienio rinkoje, dėl didesnės paklausos, tokio tipo katilų pasiūla yra žymiai didesnė.

UAB „Umega“ gaminami trijų tipų katilai: R, AKU, AKT (žr. priedas NR. 1). R tipo katilai – tai apvalios formos kūrykla, turinti viršutinėje dalyje įmontuotą šilumokaitį, kurį sudaro kolektorius ir dūmų vamzdis. Tarp apvalkalo ir kūryklos esančios erdvės cirkuliuoja vanduo. Degimui reikalingas oras yra paduodamas pro durų angą su oro reguliavimo sklende. Į katilą vienu metu telpa 1–2 šiaudų ryšuliai. Pakrovus šiaudus į įkrovą, šiaudai padegami ir uždaromos durys. Šiaudų degimo metu susidariusios karštos dujos vamzdžiais patenka į kolektorių, o iš jo į dūmtraukį. Tokiu būdu yra kaitinamas vanduo. Vandeniui įkaitus iki tam tikros temperatūros, sklendė automatiškai prisidaro, sumažinamas oro padavimas, sumažėjus vandens temperatūrai sklendė automatiškai prisidaro ir degimas suintensyvėja. Tokiu būdu yra palaikoma vandens temperatūra katile (Žaltauskas 2008b).

AKU tipo katilai yra kūrenami šiaudų ritiniais. Šildymo blokų galia svyruoja nuo 130 iki 600 kW. Šildymo blokai AKT galia svyruoja nuo 150–450 kW galios. Šio tipo katilai kūrenami dideliais stačiakampiais šiaudų ryšuliais (Žaltauskas 2008b). Katilo naudingumo koeficientas siekia 87 % (Umega 2010).

Įmonėje „Biokaitra“ gaminami katilai, kurie yra skirti šiaudų granuliu deginimui (žr. priedas NR. 2). Granulinio katilo naudingumo koeficientas siekia iki 88 %. Nauja degiklio technologija leidžia šiaudų granules

deginti be šlakavimosi, degiklis susidariusiam šlakui pasišalinti leidžia savaiminiu būdu. Katilų galios svyruoja nuo 30 iki 95 kW (Biokaitra 2013).

Užsienio rinkoje pardavinėjamas katilas BB254/2, (žr. priedas NR. 3) kurio galia siekia 176 kW. Per dieną šiame katile sudeginama 4 šiaudų ritiniai (1,52 m skersmuo ir 1,22 m plotis). Gamintojo duomenimis, per dieną galima sudeginti 8 ritinius. Ritinys į katilą įdedamas traktoriaus pagalba. Pagaminta šiluma yra perduodama į 3,5 m³ rezervuarą, per kurį eina šilumokaitis. Išmetamosios dujos yra išleidžiamos per 362 mm skersmens kaminą. Katilas yra pilnai automatizuotas (Morissette et al. 2013).

Ardyninio deginimo katilai šilumai išgauti naudojami seniausiai. Šie katilai išpopuliarėjo 1980 metais ir iki šiol išlieka dažniausiai naudojamu katilų tipu (Large Combustion Plants 2006). Į ardyninę pakurą šiaudų kuras patenka automatiškai, veikiamas gravitacijos jėgų. Pradiniame etape vyksta šiaudų džiovinimas, po to užsidegimas, degimas, atvėsimas ir pelenų šalinimas. Pirminis oras yra paduodamas po ardynu. Reikiamas oro kiekis per grotas ir kuro sluoksnį teikiamas į degimo kamerą. Šis oro tiekimas atlieka ir grotelių vėsinimo funkciją. Reikalingas ir antrinis oro padavimas, kuris teikiamas ardyno gale arba katilo dūmtakio pradžioje. Dideliu intensyvumu teikiamas oras užtikrina gerą deguonies ir lakiųjų medžiagų susimaišymą. Degimo temperatūra siekia apie 900–1100 °C. Dėl aukštos degimo temperatūros susiformuoja šlakas, kuris apneša katilo vidaus paviršių. Šlako formavimosi būtų galima išvengti sumažinus degimo temperatūrą. Tai galima įgyvendinti panaudojus verdančio sluoksnio pakurą (Biekša ir kt. 2007).

Biokuro deginimas verdančio sluoksnio katiluose vyksta, kai temperatūra siekia 950 °C. Intensyvus degimo efektyvumas palaikomas esant būtent šiai temperatūrai. Pritaikius šį deginimo metodą, katilo paviršius apsaugomas nuo šlakavimosi, nes degimo temperatūra yra žemesnė už pelenų lydymosi temperatūrą (Biekša ir kt. 2007). Verdančio sluoksnio katiluose šiaudų kuras yra tiekiamas į „verdantį“ medžiagos sluoksnį, dažniausiai smėlio. Verdančio sluoksnio katilai daugiausia naudojami pramonėje, kur deginamas skirtingų tipų kietasis kuras. Katilų galingumas siekia iki 50 MW. Verdantis sluoksnis yra gaunamas per paskirstymo plokštę, pučiant orą arba dujas. Katiluose išskiriami du verdančio sluoksnio tipai: stacionarus ir cirkuliuojantis (Large Combustion Plants 2006).

Danija yra pasaulinė lyderė šiaudų kuro energijos išgavime. Didžiausias šiaudų energijos kiekis yra naudojamas centralizuoto šildymo įrenginiuose (Giuntoli et al. 2012). Danijoje veikia 117 MW jėgainė, kurioje kasmet suvartojama apie 170000 tonų šiaudų. Tai pakeičia apytikriai 100 tūkst. tonų anglies, o CO₂ emisijos kiekis per metus sumažinamas 245 tūkst. tonomis. Jėgainė gamina tiek šilumą (86,7 MW), tiek elektros energiją (35,3 MW) (Fynsværket <...> 2014). Pagal statistikos duomenis, Danijoje 2010 metais energijos gamybai buvo suvartota 23 600 000 GJ šiaudų. Tai sudarė 15,5 % visos naudojamos biomasės kiekio (Nikolaisen 2012).

Kinija 2002 metais užaugino daugiau nei 620 mln. tonų šiaudų, iš kurių 33–45 % buvo panaudoti šilumos energijos gavybai kaimo vietovėse. Kinijoje šiaudų panaudojimas energijos gamybai sudaro net 72,2 % viso biokuro. Nors suvartojami dideli šiaudų kiekiai, tačiau visą šį kiekį sudaro energijos suvartojimas individualiuosiuose namų ūkiuose – pramonėje ši energijos rūšis nėra naudojama (Zeng et al. 2005). Pirmoji šiaudų jėgainė Kinijoje pastatyta 2006 metais (Lv et al. 2014). Turėdama didelių problemų aplinkos ir sveikatos sektoriuje, Kinijos vyriausybė skatina ir skiria finansines paramas šiaudų surinkimui ir perdirbimui į elektros energiją (Clare et al. 2015). 2010 metais šiaudų jėgainių bendra galia siekė 5 GW. Prognozuojama, kad iki 2020

metų ši galia išaugs iki 30 GW. Šiuo metu Kinijoje iš šiaudų pagaminama apie 1 % visos reikalingos energijos (Xingang et al. 2013). Bendra šiaudų jėgainių instaliuota galia 2013 metų pabaigoje siekė 12226,21 MW (Lv et al. 2014).

Egipte, kaip ir Kinijoje, laukuose deginami dideli kiekiai šiaudų. Manoma, kad Egipte užauginama apie 3,1 mln. t šiaudų per metus, tačiau jie deginami atviraime lauke ir tokiu būdu sukelia tiesioginę atmosferos taršą. Tyrimo, atlikto įvertinti šiaudų galios našumą bei ŠESD dujų mažinimo analizę rezultatai parodė, kad šiaudai gali sugeneruoti 2,447 GWh elektros energijos per metus ir sumažinti CO₂ emisijas net 1,2 mln. t/metus (Abdelhady et al. 2014).

Anglijoje 2008 metais suprojektuota, o 2014 metais paleista didžiausia šalyje šiaudais kūrenama jėgainė, kurios galingumas siekia 38,5 MW. Katilinėje yra sukuriama aukšto slėgio vandens garai, kurie suka garo turbinos rotorius 5500 rpm greičiu. Generatoriaus galia siekia 11 kV. Panaudotas garas kondensuojasi ir yra perduodamas pakartotiniam naudojimui. Katilinė elektros energija aprūpina 65000 namų ir kasmet išmeta 230 tūkst. tonų mažiau CO₂, nei kūrenamos iškastiniu kuru. Po šiaudų deginimo likę pelenai žemės ūkyje yra naudojami kaip trąša. Per metus yra sudeginama 240 tūkst. tonų šiaudų, kurie surenkami 50 km spinduliu, daugiausiai iš vietinių ūkininkų (Biomass plant <...> 2015). Statistikos duomenimis šiaudų suvartojimas energijai išgauti Anglijoje nuo 2000 iki 2013 metų padidėjo nuo 81 iki 286 tūkst. tne (Statista 2016). Energijos gavybai 2012–2013 metais Anglijoje buvo sunaudota apie 230 tūkst. t šiaudų. Šis skaičius padidės pastačius 5 naujus katilus, kadangi prie bendro šiaudų suvartojimo pridės 624 tūkst. tonų šiaudų per metus (Government statistical service 2013). Šiaudų energija Anglijoje sudaro 15,07 % sunaudojamos biomasės kiekio, o likutinė dalis priskiriama kitai biokuro rūšiai (UK Biomass Strategy 2007).

Pirmoji šiaudais kūrenama katilinė Lietuvoje pastatyta 1996 metais Narteikiuose, jos galingumas siekė 1 MW. Katilinė aprūpino Pasvalio rajono Joniškėlio žemės ūkio mokyklą. Į katilinę iš sandėlio šiaudai buvo transportuojami konvejeriu. Visas šiaudų ritinys transportuojamas į smulkintuvą, iš kurio tiekiamas į katilo kūryklą. Nuolatinis kuro tiekimas į kūryklą užtikrino efektyvų degimo proceso pastovumą (Biekša ir kt. 2007).

Lietuvoje 2000 metais pastatyta šiaudų katilinė, kurios bendra instaliuota galia siekė 1,4 MW. Ji teikė šilumą Juknaičių gyvenvietei. Pačioje katilinėje buvo įrengti keturi katilai, kūrenami supresuotais šiaudų ritiniais. Vienu metu į vieną katilą buvo pakraunamas 1 ritinys, kuris degė apie 5 valandas. Sudegus kurui, pelenai mechaniškai buvo pašalinami iš katilinės ir šiltuoju metų laiku buvo naudojami žemės ūkio laukams tręšti (Aplinkosaugos informacijos centras 2007).

Vienoje Lietuvos katilinių 2004 metais buvo įvykdytas modernizavimas. Katilinėje veikė 5 katilai: du biokuru kūrenami vandens šildymo katilai ir trys kūrenami gamtinėmis dujomis. Dėl gamtinių dujų kainos didėjimo buvo nuspręsta naudoti vietinius atsinaujinančius energijos šaltinius. 7,56 MW galingumo gamtinių dujų katilas buvo pakeistas į 4 MW galingumo šiaudais kūrenamą katilą. Šiaudų ritiniai transportuojami iš taškų, nutolusių nuo įrenginio vidutiniškai apie 50 km. Šiaudams sudegus susidaro iki 161,5 t šlamo, kuris gali būti panaudojamas kaip statybinė medžiaga kelių tiesimui. Šiaudais kūrenamo katilo pakeitimas analizuojamoje katilinėje, sumažino elektros energijos sąnaudas produkcijos vienetai 1,382kWh/MWh. Šiaudų biokuro sąnaudos siekia 11500 t/m. Taip pat sumažėjo teršalų į aplinkos orą emisijos. Nustatyta inovacijos atsipirkimo trukmė – 3,5 metų (Staniškis ir kt. 2010).

Lietuvoje 2004 metais šiaudų kuras buvo naudojamas 9 šildymo katiluose. Katilų galia siekė nuo 15–450 kW. Tik vienoje katilinėje veikė šiaudų smulkinimo ir automatinė kuro padavimo sistema. Bendra instaliuota galia siekė 5 MW (Tyla 2009). Bendras suvartotų šiaudų kiekis 2006 metais biokuro katilinės siekė tik 5000 tonų (Dzenajavičienė ir kt. 2011). Sunku įvertinti, kiek šiuo metu yra registruotų katilinių, nes oficialios statistikos nėra. Taip pat sunku apskaičiuoti mažesnio galingumo katilų, kurie yra naudojami individualiuose namuose, kiekį. Šiuo metu galima įvertinti tik įmones, turinčias TIPK leidimą, kurių leidime yra įtraukti šiaudų deginimo kiekiai. Remiantis aplinkos apsaugos agentūros duomenimis (2015), 2014 metais buvo 10 įmonių turinčių TIPK leidimus, kurių PŪV yra numatytas šiaudų deginimas. Sudėjus visų naudojamus įrenginių statistinius duomenis, šiaudų per metus būtų sudeginta tik apie 13400 tonų. Pagal šiuos duomenis, Lietuvos energetikos pramonėje yra sudeginama tik apie 1 % šiaudų potencialo.

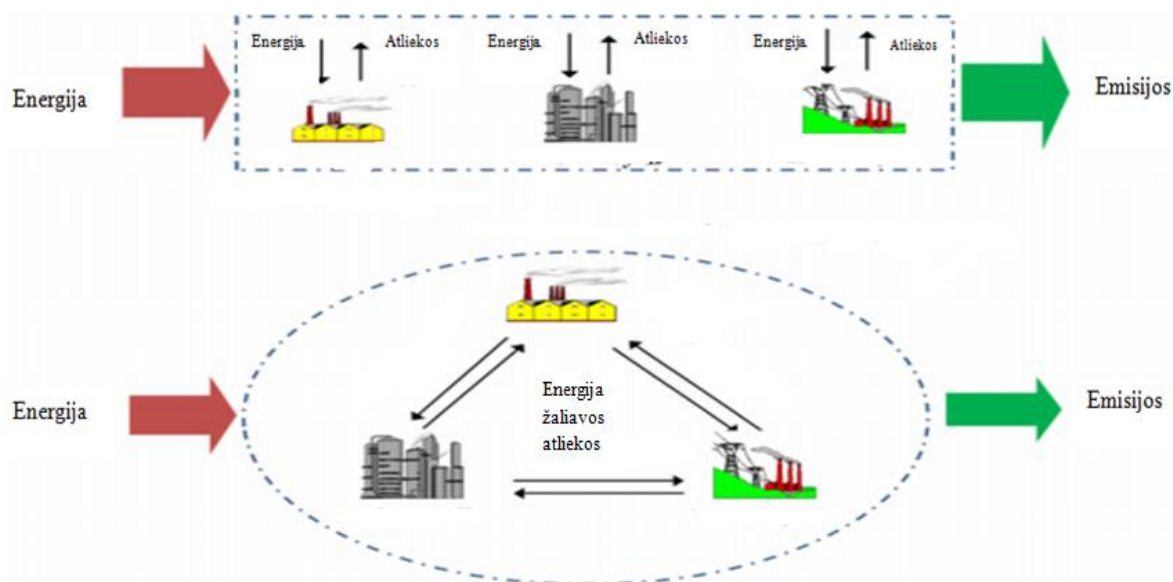
2005 metais atlikta PŪV dėl UAB Kretingos šilumos tinklų Katilinės Nr. 2 rekonstrukcijos, įdiegiant biokuru (šiaudais) kūrenamą vandens šildymo katilą. PŪV – šilumos energijos gamyba 4,5 MW VŠK, deginant šiaudus. Pagal šią veiklą numatyta, kad šiaudai bus surinkti iš ūkininkų laukų ir supresuojami. Šiaudų spūduliai surenkami iš ūkininkų, vidutiniškai apie 50 km nuo Kretingos nutolusių ūkininkų. Per metus, deginant 7192 t šiaudų kuro būtų pagaminama 24440 MWh šilumos energijos. Po deginimo likę pelenai (iki 252 t/m.) būtų atiduodami ūkininkams kaip trąša (Staniškis ir kt. 2010). Tačiau įvertinus skirtingas biokuro rūšis t. y. medienos pjuvenų ir šiaudų deginimo technologijas, buvo atsisakyta PŪV šiaudų deginimo. Investuotojai priėmė tokį sprendimą dėl didesnės šiaudų kurą deginančio įrenginio kainos ir ilgesnės atsipirkimo trukmės. Šis atvejis parodo, kad būtinas valstybės palaikymas ir parama investuotojams, kurie savo PŪV ketina deginti šiaudus.

2015 metais biomasės deginimo technologijų lyderė Lietuvoje „Enerstena“ suprojektavo, pagamino ir įdiegė šiaudų ir medžio granulėmis kūrenamą 2 MW katilą „Philip Morris Lietuva“ įmonėje. Šiaudų katilo naudingumo koeficientas siekia net 90 %. Visas katilo veikimas pilnai automatizuotas. Įmonė „Enerstena“ Lietuvos rinkai gali pasiūlyti šiaudų granuliuotus katilus, kurių galingumas svyruoja nuo 1 iki 5 MW. Į komplektaciją įeina tiek vandens šildymas, tiek garo šildymas. Šiaudų granuliuotose katiluose galima deginti ir medienos granules. Šiaudų granuliuotų deginimo įranga yra brangesnė apie 10 – 15 %, tačiau šis procentas greitai atsiperka (Litbioma 2015).

1.7. Pramoninė simbiozė

Ekologinių pramoninių parkų augimas yra labai svarbi tendencija naujojoje pramonėje. Ekologinis pramoninis parkų auginimas, kitaip vadinamas pramonine simbioze, yra procesas, kuris apima medžiagų bei energijos mainus tarp įmonių (Felicio et al. 2016).

Natūraliose ekosistemose atliekų nėra. Viskas vyksta cikliškai, vienos atliekos kitiems tampa žaliava. Visi ištekliai yra naudojami efektyviai ir tvariai, o saulė yra pirminis energijos šaltinis. Tai yra pramoninės ekologijos tikslas: imituoti gamtą, sumažinti išteklių sąnaudas, atliekų ir išmetimų emisijas į gamtinę aplinką. Linijinis ciklas yra uždaromas į uždarą energijos ir medžiagų ciklą (Valero et al. 2012). Pramoninių parkų kūrimas daugelyje šalių pradėtas nuo 1980 metų (Zhe et al. 2016).



1.7.1 paveikslas. Pramoninės simbiozės modelis (Dong et al. 2013)

Pramoninės simbiozės pavyzdžiu galima laikyti miestų pramoninę simbiozę (žr. 1.7.1 pav). Miestuose susidaro daug maisto atliekų, kurios patenka į sąvartynus. Šias miestuose susidariusias organines atliekas galima sutvarkyti išgaunant energiją. Taip sumažėtų atliekų šalinimo problema sąvartynuose ir būtų gaunama elektros energija. Energija gali būti gaunama ir per aerobinį pūdymą, pirolizę, gasifikaciją. Tokiu būdu miestuose susidariusios atliekos tampa žaliava įmonėms, kurios iš jų išgauna energiją. Pagaminta energija galėtų būti tiekiamą miesto gyventojams (Albino, Fraccascia 2015).

Šį miesto pramoninės simbiozės pavyzdį būtų galima pritaikyti ir kaimo vietovėse. Pramoninės simbiozės pavyzdžiu kaimo vietovėje galėtų būti stambus ūkininkas, kurio ūkyje susidariusios pagrindinės atliekos – šiaudai ir kurą deginantys įrenginys, kurio pagrindinė veikla – gaminti ir tiekti energiją vartotojams. Žemės ūkio atlieka taptų žaliava, iš kurios pagaminta elektros arba šilumos energija būtų tiekiamą vietiniams gyventojams. Šiaudų deginimo metu susidarę pelenai būtų panaudojami tų pačių ūkininkų laukuose kaip žaliava (trąša), kuri praturtintų dirvožemį maistingaisiais elementais.

Pagal 2014–2020 metų Europos fondų investicijų veiksmų planą (2016), viena iš Lietuvoje remiamų veiklų – technologinių ekoinovacijų diegimas ir skatinimas. Skatinama pramoninė simbiozė ir užtikrinamas tęstinis aplinkos apsaugos efektas t. y. investicijos į švaresnės gamybos inovacijas, jų įdiegimą, kuriose būtų taikomi racionalių išteklių naudojimo ir taršos prevencijos metodai. Pagrindinis švaresnės gamybos ir pramoninės simbiozės tikslas yra poveikio aplinkai mažinimas, gamtos išteklių tausojimas, beatliekinė gamyba arba antrinis atliekų panaudojimas naujų gaminių gamyboje. Taip pat skatinami pramoninės simbiozės projektai ir bendradarbiavimas įmonių lygmenyje, kai atsižvelgiama į numatytus aplinkosauginius reikalavimus ir reguliuojamas atliekų ir žaliavų santykis.

2. ENERGIJOS EFEKTYVUMO DIDINIMO GALIMYBIŲ ĮVERTINIMO NAUDOJAMI METODAI

Šiaudų energijos potencialo regeneravimo efektyvumui nustatyti pasirinkta atlikti tris tyrimus:

1. Šiaudų energetinio potencialo regeneravimo metodų lyginamoji analizė.

Tyrimo tikslas – nustatyti energijos regeneravimo požiūriu efektyvesnę technologiją, optimaliai išnaudojant šiaudų kuro potencialą.

Tiksliui pasiekti atliekama lyginamoji analizė – vertinamos energijos sąnaudos (MWh), reikalingos pagaminti 100 MWh šilumos energijos, deginant šiaudų granules ir šiaudų ritinius. Vertinimo ribos: nuo kuro gamybos iki šiluminės energijos gamybos. Lyginamojoje analizėje naudojami kuro ir energijos bei medžiagų ir energijos balansų sudarymo metodai (žr. 2.1 poskyrį), kurie taikomi švaresnės gamybos (ŠG) koncepcijos diegimo įmonėse ir prevencinių inovacijų diegimo energetikos objektuose metodikose (Staniškis ir kt. 2010).

2. ŠG prevencinio metodo – žemės ūkio atliekos – šiaudų antrinio panaudojimo galimybių įvertinimas (ūkininko lygmenyje).

Tyrimo tikslas – pritaikyti ŠG diegimo įmonėse metodiką (Staniškis ir kt. 2002), įvertinti energijos naudojimo efektyvumo didinimo galimybes žemės ūkio pastatuose.

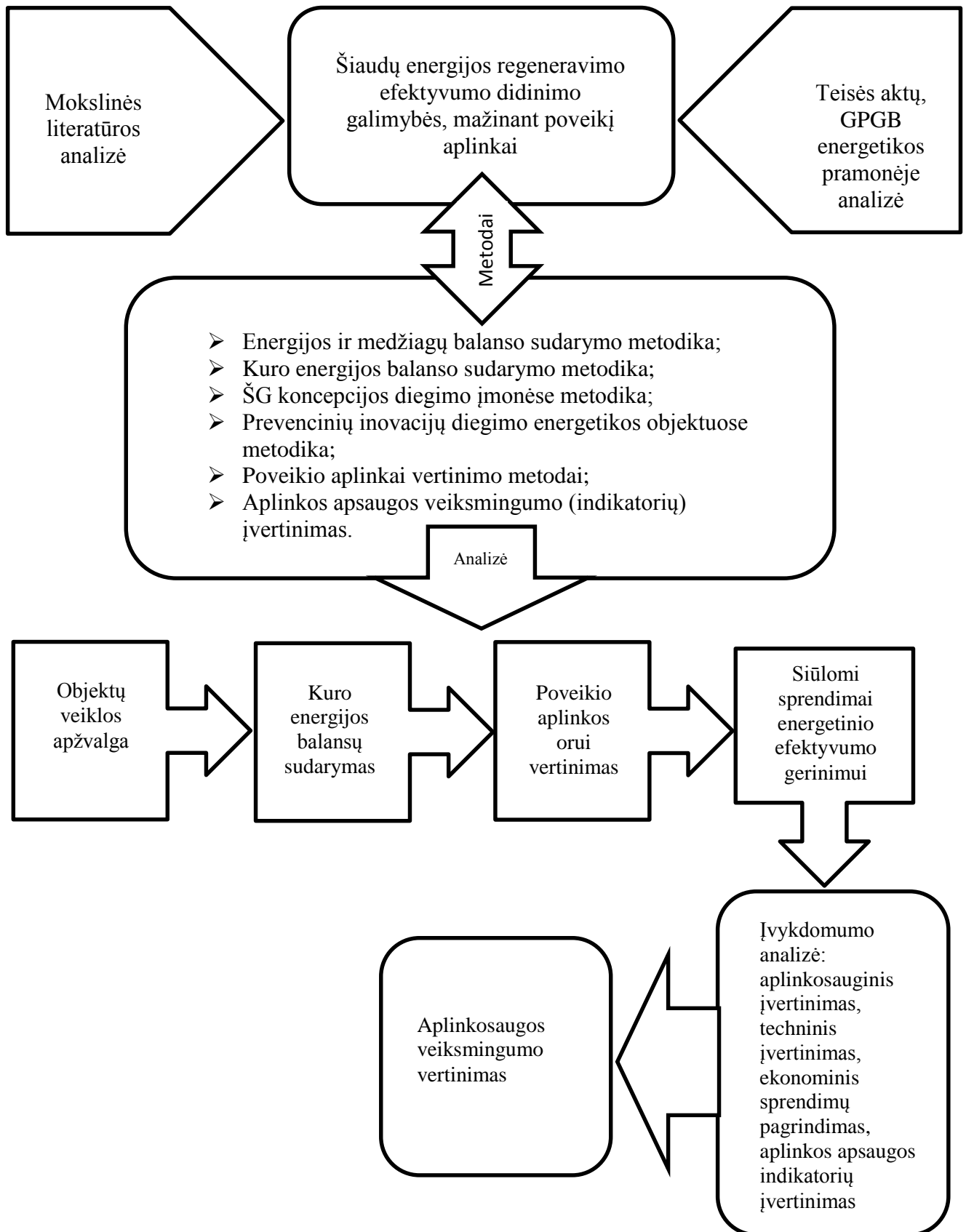
Šiame tyrime vertinamos galimybės žemės ūkio sektoriuje šilumos energijos gamybai panaudoti ūkinėje veikloje susidariusias kietąsias atliekas – šiaudus, vietoj plačiausiai naudojamo iškastinio kuro (gamtinių dujų, dyzelinio kuro ir akmens anglių). Tyrimui parenkamas standartinis ūkis.

3. Pramoninės simbiozės ir švaresnės gamybos metodų taikymas energetikos sektoriuje.

Tyrimo tikslas – pritaikius Švaresnės gamybos ir pramoninės simbiozės principus (Staniškis ir kt. 2002, 2010, Kliopova ir kt. 2016) įvertinti galimybę šiaudų energiją naudoti kurą deginančiuose įrenginiuose, kurių pagrindinė paskirtis – šilumos energijos gamyba ir tiekimas vartotojams.

Tyrimui parenkamas objektas – UAB „Pakruojo šilumos“ Dvaro katilinė.

Visi tyrimo etapai ir metodai pateikti 2.1 paveiksle.



2.1. paveikslas. Darbe naudojami šiaudų energijos regeneravimo efektyvumo didinimo galimybių įvertinimo etapai bei taikomi metodai

2.1. Skaičiavimų metodikos

Kuro kiekio, norint pagaminti tam tikrą energijos kiekį, vertinimui naudojama formulė (Staniškis ir kt. 2010):

$$B = Q \times 3,6 / [Q_z \times \eta], \quad (1)$$

čia: B = kuro sąnaudos, t arba tūkst. nm³;

Q - pagamintas šilumos energijos kiekis, MWh/m.; 1 MWh = 3,6 GJ; 1 tne = 11,628 MWh;

Q_z- kuro apatinė šilumingumo vertė;

η – šilumos gamybos n.v.k.

Gamtinių dujų, akmens anglies ir dyzelinio kuro kaloringumas pateiktas 2008-07-31 Statistikos departamento prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės generalinio direktoriaus įsakymu Nr. DĮ-154 patvirtinto kuro ir energijos balanso sudarymo metodikos 4 priede:

- Gamtinių dujų – 33,49 MJ/nm³
- Akmens anglies – 25,12 MJ/kg
- Dyzelino – 43,07 MJ/kg.

Teršalų į aplinkos orą, deginant įvairų kurą (CO, NO_x, KD) vertinimui naudojama metodika, pateikta 1 paragrafe „Teršalų, išmetamų į atmosferą iš pagrindinių technologinių mašinų gamybos įrenginių, normatyviniai rodikliai“ Charkovas, 1997, 1.2 punkte „Metodinės gairės, vertinant teršalų emisijas į aplinkos orą, deginant nedideliuose kurą deginančiuose katiluose“.

Anglies monoksido (CO) išsiskyrimas į aplinkos orą vertinamas pagal formulę:

$$G_{co} = 0,001 \cdot C_{co} \cdot B (1 - q_4 / 100) \quad (2)$$

čia: B – kuro kiekis, t arba tūkst. m³ – gamtinių dujų atveju

q₄ – šilumos nuostoliai dėl nepilno mechaninio kuro sudeginimo, (proc.); deginant gamtines dujas - 0,5, akmens anglį – 5, dyzelinį kurą – 0,5, biokurą – 2.

C_{co} – anglies monoksido kiekis, išsiskiriantis kuro degimo metu, kg/t;

$$C_{co} = q_3 \cdot R \cdot Q_z$$

čia: q₃ – šilumos nuostoliai dėl nepilno cheminio sudeginimo (proc.); koeficientas priklauso nuo oro pertekliaus koeficiento λ. Deginant gamtines dujas - 0,5, akmens anglį - 0,5, dyzelinį kurą – 0,5, biokurą – 1

R – koeficientas, įvertinantis šilumos nuostolius dėl CO buvimo dūmuose; deginant gamtines dujas - 0,5, akmens anglį – 1, dyz. kurą – 0,65, biokurą – 1.

Q_z – kuro apatinė šilumingumo vertė, MJ/kg.

Azoto oksidų (NO₂) išsiskyrimas į aplinkos orą vertinamas pagal formulę:

$$G_{NO_2} = 0,001 \cdot B \cdot Q_z \cdot K_{nox} (1 - \beta) \quad (3)$$

čia: B – kuro kiekis, t arba tūkst. m³ – gamtinių dujų atveju

Q_z – kuro apatinė šilumingumo vertė, MJ/kg;

K_{NO₂} – koeficientas, apibūdinantis NO₂ kiekį, kg/GJ; deginant gamtines dujas – 0,75 (VŠK iki 500 KW), akmens anglį – 0,2, dyzelinį kurą – 0,75, biokurą – 0,17.

β – koeficientas, įvertinantis NO₂ susidarymo mažėjimą dėl panaudotų techninių priemonių.

Kietųjų dalelių išsiskyrimas į aplinkos orą deginant kietąjį kurą:

$$G_{k,d} = B \cdot A^r \cdot \lambda \cdot (1 - \eta_1) \quad (4)$$

čia: B – sudeginamo kuro kiekis, t

A^r – kuro peleningumas, proc., susidaręs po akmens anglių deginimo – 10 proc., šiaudų deginimo – 4 proc.

Kuro peleningumas nustatomas sausoje medžiagoje.

λ - koeficientas, apibūdinantis degiųjų medžiagų kiekį šlake ir jų dalį lakiuosiuose pelenuose; $\lambda = 0,0035$ (šiaudams), $\lambda = 0,0023$ (deginant akmens anglių), $\lambda = 0,02$ (deginant dyz. kurą)

η_1 - kietųjų dalelių valymo įrenginių naudingumo koeficientas, proc.; $\eta_2 = 0,95$ (biokurui – KDI, kurių pagrindinė veikla – šilumos energijos gamyba ir tiekimas). Mažuose katiluose (pvz., ūkininko ūkyje) kietųjų dalelių valymas nenumatomas.

Sieros dioksido (SO_2) ir kietųjų dalelių (KD) metinių išlakų kiekis, deginant gamtines dujas ir SO_2 išlakų kiekis deginant biokurą ir skystąjį kurą nedideliuose KDI, apskaičiuojamas pagal emisijos faktorius, kurie pateikti EMEP/EEA „Air pollutant emission inventory guidebook 2013/1.A.4 Small combustion“:

- $M_{SO_2} = 0,3$ g/GJ sudegintų gamtinių dujų;
- $M_{k,d} = 1,2$ g/GJ sudegintų gamtinių dujų;
- $M_{SO_2} = 11$ g/GJ sudeginto biokuro;
- $M_{k,d} = 20$ g/GJ sudeginto skystojo kuro;
- $M_{SO_2} = 47$ g/GJ sudeginto skystojo kuro.

Remiantis gairėmis dėl degimo metu išskiriančių ŠESD, susidarančių dėl Direktyvos 2003/87/EB I priede išvardintų veiklos rūšių, apskaičiuojamos CO_2 emisijos:

$$CO_2 \text{ emisijos} = \text{veiklos duomenis} \times \text{išmetamų teršalų faktorius} \times \text{oksidacijos koeficientas} \quad (5)$$

Ataskaitiniu laikotarpiu sunaudojamo kuro grynas energijos kiekis (TJ), kuris apskaičiuojamas pagal veiklos duomenis:

$$\text{Sunaudojamo kuro energijos kiekis [TJ]} = \text{sunaudojamo kuro kiekis [t]} \times \text{kuro žemutinės šiluminės vertės [TJ/t]} \quad (6)$$

Taikomos emisijų faktorių vertės:

- Akmens angliai – 95 t CO_2 /TJ;
- Gamtinėms dujoms – 56,9 t CO_2 /TJ;
- Dyzeliniam kurui – 74 t CO_2 /TJ.

Remiantis Lietuvos Respublikos Aplinkos ministro įsakymo (2010) „Dėl klimato kaitos specialiosios programos lėšų naudojimo tvarkos aprašo patvirtinimo“ antrame priede pateikta išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekio sumažinimo vertinimo metodika, įvertintas netiesioginis poveikis aplinkos orui dėl elektros energijos sąnaudų - ŠESD (CO_2).

$$\text{ŠESD kiekis (t/m.)} = \text{Elektros energijos kiekis (MWh)} \times \text{ŠESD taršos faktorius (t/MWh)}, \quad (7)$$

čia

$$\text{ŠESD taršos faktorius} = 0,2762 \text{ t } CO_2/MWh$$

ŠESD (CO₂) emisijos dėl dyzelinio kuro sąnaudų vidaus diegimo varikliuose apskaičiavimas:

ŠESD kiekis vertinamas pagal formulę:

$$\text{ŠESD kiekis (t/m.)} = \text{Sunaudotas kuro kiekis (vnt./m.)} \times \text{ŠESD taršos faktorius (t ŠESD/vnt.)}, \quad (8)$$

čia: ŠESD – šiltnamio efektą sukeliančios dujos: CO₂, CH₄, N₂O, kurios susidaro transporto priemonėse deginant įvairų kurą;

ŠESD taršos faktoriai iš EMEP/EEA/CORINAIR;

ŠESD sukeliama globalinio šiltėjimo potencialas:

CO₂– 1;

Išlakos žaliavos transportavimo metu (CO, NO_x, KD) skaičiuojamos remiantis taršos faktoriais iš EMEP/EEA air emission inventory guidebook 2013. Transporto priemonė – sunkusis transportas.

- CO faktorius 7,58 g/kg
- NO_x faktorius 33,37 g/kg
- KD faktorius 0,94 g/kg
- N₂O faktorius 0,051 g/kg

Šilumos energijos kiekis, reikalingas apšiltinti tam tikro ploto patalpas (preliminarus teorinis įvertinimas).

Šildomos patalpos tūris: V – 1630 m³.

Oras turi pasikeisti 1 k./val., tokiu būdu šildomo oro kiekis – 1630 m³/val.

Šilumos kiekis, kurį perneša ir atiduoda oras yra skaičiuojamas pagal formulę:

$$Q = C \cdot \rho \cdot V \cdot (t_2 - t_1) \quad (9)$$

čia: C – oro savitoji šiluma, 1040 J/kg K;

V – šildomo oro kiekis, m³;

ρ – oro tankis, 1,2 kg/m³;

t₁ – pradinė oro temperatūra, °C;

t₂ – oro temperatūra po šilumos mainų, °C;

-5 °C – vidutinė oro temperatūra Lietuvoje šildymo sezono metu;

22 °C – temperatūra gyvenamųjų patalpų viduje pagal higienos normas.

Santykiniai aplinkos apsaugos indikatoriai (AAI) nustatomi pagal formulę (Staniškis ir kt. 2010):

$$AAI = K(t) / G(t) \quad (10)$$

čia: G(t) – faktinis per metus pagamintos energijos kiekis, MWh/m;

K(t)- faktinis per metus sunaudoto kuro energijos kiekis, susidariusių atliekų, taršos į aplinkos orą kiekis, pvz., t/m., m³/m., kWh/m.

Planuojamos inovacijos aplinkosauginio veiksmingumo rodiklis (AAV) vertinamas pagal formulę:

$$AAV = AAI_{\text{prieš}} - AAI_{\text{po(planas)}} \quad (11)$$

čia: AAV – skirtumas tarp santykinų aplinkos apsaugos indikatorių prieš inovacijos įdiegimą ir po planuojamo įdiegimo:

$AAI_{\text{prieš}}$ – aplinkos apsaugos indikatorius prieš aplinkos apsaugos inovacijos įdiegimą.
 $AAI_{\text{po(planas)}}$ – planuojamas aplinkos apsaugos indikatorius, įdiegus inovaciją.

Ekonominis įvertinimas:

Investicijų į projektą (inovaciją) atsipirkimo trukmė (AT) apskaičiuojama įvertinus visus pinigų srautus: investicijas, metines santaupas, papildomas išlaidas. Kai atsipirkimo trukmė yra nuo trijų ir keturių metų, laikoma, kad investicijų rizika yra maža (Kliopova, 2002)

$$AT = \text{investicijos} / \text{metinės santaupos} \quad (12)$$

3. ŠIAUDŲ ENERGIJOS EFEKTYVUMO DIDINIMO GALIMYBĖS IR JŲ ĮVYKDOMUMO ANALIZĖS REZULTATAI

3.1. Šiaudų energetinio potencialo regeneravimo metodų lyginamoji analizė

Problema. Kasmet Lietuvoje žemės ūkyje susidaro dideli kiekiai šiaudų atliekų. Nors įstatymai tai ir draudžia, tačiau dažniausiai šiaudai yra likviduojami juos sudeginus laukuose. Maža jų dalis yra naudojama kraiko gamybai, o dar mažesnė dalis energijos išgavimui. Energijos gamybai Lietuvoje vis dažniau naudojami AEI, ypač biokuras. Pagrindinis AEI, naudojamas šilumos energijos gamybai – medienos biokuras. Šioje analizėje ieškoma būdų efektyviau naudoti žemės ūkio kietųjų atliekų – šiaudų energetinį potencialą. Atliekama 2-ųjų šiaudų naudojimo alternatyvų lyginamoji analizė:

- šiaudų granulių gamyba, transportavimas iki katilinės ir deginimas, gaminant 100 MWh šiluminės energijos;
- šiaudų ritinių transportavimas iki katilinės ir deginimas, gaminant 100 MWh šiluminės energijos.

Sprendimas. Tyrimui pasirinktas maksimalus rekomenduojamas šiaudų transportavimo atstumas – 50 km. Pirmuoju atveju šiaudų ritiniai yra surenkami 25 km spinduliu nuo granuliavimo gamyklos. Sugranuliuoti šiaudai yra transportuojami 25 km spinduliu į artimiausias katilines. Antruoju atveju šiaudų ritiniai surenkami 50 km spinduliu nuo katilinės (granuliavimo etapas praleidžiamas). Abejais atvejais vertinamas vienodas bendras transportuojamos žaliavos atstumas – 50 km. Supresuoti šiaudai surenkami iš vietinių ūkininkų laukų. Supresuotas šiaudų ritinys yra 1,2 – 1,8 m skersmens ir apytikriai nuo 1,2 iki 1,5 m ilgio. Paties ritinio tankis svyruoja 90 – 130 kg/m³, masė 150 – 250 kg. Granuliavimo įrangai pasirinkta Lietuvių produkcijos „ŠSGL – 1“, kurią gamina Radviliškio mašinų gamykla (priedas Nr. 4).

3.1.1 lentelė. Granulių gamybos įrangos komplekto dalių galingumas ir našumas.

Granulių gamybos įranga	Galia (kW)	Našumas, t/h
Transporteris	0,25	1,5
Draskytuvas	42,2	1,5
Malūnas	75	1,5
Žaliavos nusodinimo, dulkių surinkimo ir oro filtravimo įrenginiai	0,75	1,5
Ciklonas granulių vėsinimui, trupinių ir dulkių nusiurbimui	11,75	1,5
Granulių gamybos presas	98,5	1,3
Juostinis transporteris	1,5	2
Automatinė bėgelių tepimo stotis	0,06	-

(Radviliškio mašinų gamykla 2016)

Šiaudų granulių gamybos įranga susideda iš 8 etapų. Lyginamosios analizės rezultatai pateikiami 3.1.2 lentelėje. Lentelėje pateikiamos bendros tiesioginės energijos sąnaudos, kurios patiriamos 100 MWh šilumos energijos gamybos metu, deginant šiaudų granules bei ritinius. Taip pat lentelėje įvertintas abiejų atvejų poveikis aplinkos orui ir atliekų susidarymui.

3.1.2 lentelė. Energijos sąnaudos pagaminti 100 MWh šilumos energijos, deginant šiaudų ritinius bei šiaudų granules (lyginamosios analizės rezultatai)

Srautai procesų išėjime ir įėjime bei kiti lyginamieji rodikliai	Dimensija	100 MWh šilumos energijos gamyba, deginant	
		1 alternatyva Šiaudus (granulės)	2 alternatyva Šiaudus (ritiniai)
Kuro charakteristikos:			
Drėgnis	%	8	15
Žemutinė šilumingumo vertė	MJ/kg	16,19	14,49
Sudeginto kuro kiekis, pagaminti 100 MWh energijos	t	24,707	24,845
KDĮ pagrindinės charakteristikos:			
Našumas	MW	<35	<35
Šilumos energijos gamybos efektyvumas	%	90	100
Naudojama technologija		*ENERSTENA	kondensacinis ekonomazeris
Srautai procesų įėjime:		Šiaudų ritiniai	Šiaudų ritiniai
Žaliavų drėgnis iki džiovinimo	%	15	15
Žaliavų sąnaudos kuro gamybai:			
Iki granuliavimo	t	26,741	24,845
Po granuliavimo	t	24,707	24,845
Energijos sąnaudos žaliavų džiovinimui (kuro sąnaudos šiluminės energijos gamybai)	MWh	**-	-
Elektros energijos sąnaudos žaliavos smulkinimui	MWh	0,757	-
Elektros energijos sąnaudos kuro gamybai – žaliavų presavimui (granuliavimui)	MWh	1,58	-
Elektros energijos sąnaudos KDĮ	MWh	2 (20 kWh _{el} /MWh _{šil})	1,7 (17kWh _{el} /MWh _{šil})
Dyzelinio kuro sąnaudos: kuro transportavimui iki katilinės (priimami vienodi atstumai), kt.	MWh	1,0198	1,4833
Bendros įvertintos energijos sąnaudos:	MWh	5,3568	3,18
Matrica (presavimui)	Vnt.	0,014 (1 vnt. / 2000 t)	-
Pagrindiniai srautai procesų išėjime:			
Produkcija – šilumos energija	MWh	100	100
Šilumos energijos nuostoliai gamybos metu	MWh	10	0
Išlajos į aplinkos orą deginant kurą, gaminant šilumos energija.	t	<u>0,281</u>	<u>0,261</u>
KD		0,017	0,017
CO		0,196	0,176
NO _x		0,068	0,068
ŠESD (CO ₂) emisijos deginant kurą	t	0	0
Netiesioginis poveikis aplinkos orui (ŠESD) dėl kitos energijos sąnaudų:	t CO ₂	<u>1,84695</u>	<u>1,0292</u>
elektros energijos:		1,743	0,878
dyzelinio kuro:		0,10395	0,1512

3.1.2 lentelės tęsinys

Tiesioginis poveikis naudojant dyzelinį kurą:	kg	<u>3,5745</u>	<u>5,1967</u>
CO		0,646	0,94
NO _x		2,844	4,137
KD		0,0801	0,117
N ₂ O		0,0044	0,0063
KD išlankos į aplinkos orą kuro gamybos metu	kg	1,2	1,1
Nepavojingos atliekos: pelenai iš valymo įrenginių, dugno pelenai ir šlakas.	t	0,908	0,834

Pastabos:

*ENERSTENA <http://www.enerstena.lt/>

**Papildomai džiiovinti šiaudų nereikia, granuliavimo procesui žaliavos drėgnis gali siekti 15 proc. (Kliopova, Makarskienė, 2014).

Toliau pateikiami techniniai ir aplinkosauginiai skaičiavimai:

Žemutinė šilumingumo vertė, nustatyta atsižvelgus į 1.2.2 lentelės duomenis, kai drėgmės lygis siekia 0 – 20 % (surenkamų šiaudų drėgnis siekia apie 15 %), yra lygi 14,49 MJ/kg. Kai granuliu drėgnumas sumažėja iki 8 %, šilumingumas padidėja iki 16,19 MJ/kg.

Pagal GPGB informacinį dokumentą dideliems kurą degintiems įrenginiams (KDI) ardyninio degimo katilo naudingumo koeficientas svyruoja nuo 75 iki 90 %. Analizei priimama prielaida, kad šiaudų deginimo proceso metu bus naudojamas kondensacinis ekonomizeris, kuris leidžia šiaudų katilinės efektyvumą padidinti nuo 90 % iki 100 % (Large Combustion Plants 2006). Šiaudų granulėms parenkamas UAB „Enerstena“ sukurtas katilo pavyzdys, kurio naudingo veikimo koeficientas visame katilo galios reguliavimo diapazone $\geq 90\%$ (Enerstena, 2016).

Reikalingas kuro kiekis, norint pagaminti 100 MWh šiluminės energijos apskaičiuojamas pagal 1 formulę:

Šiaudų granulėmis kūrenamame VŠK: $B = 100 \text{ MWh} \times 3,6 / (16,19 \times 0,9) = 24,707 \text{ t}$

Šiaudų ritiniais kūrename VŠK: $B = 100 \text{ MWh} \times 3,6 / (14,49 \times 1) = 24,845 \text{ t}$

Šiaudų smulkinimui ir granuliavimui parenkamas Lietuvoje gaminamas komplektas ŠSGL – 1 granuliu drėgnis siekia apie 8 %, žaliavos drėgnis siekia 15 %. Žinant granuliu kiekį apskaičiuojamas šiaudų žaliavos kiekis, kuris yra lygus 26,741 t.

Elektros energijos sąnaudos 26,741 t šiaudų smulkinimui:

Elektros energijos poreikis vienai tonai žaliavos:

- ritinių transportavimui į draskytuvą 0,167 kWh/t ;
- ritinių (diametro – iki 1,8 m) draskytuve – 28,13 kWh/t

Elektros energijos poreikis 26,741 t šiaudų smulkinimui:

$26,741 \text{ t} \times (0,167 + 28,13) = 756,69 \text{ kWh}$

Elektros energijos sąnaudos sugruntuoti 26,741 t šiaudų:

Sumalti šiaudai oro srautu nunešami į nusodintuvą. Malūne įmontuotas akmenų gaudytuvas, kuris akmenis nukreipia į specialų stalčių.

Elektros energijos poreikis vienai tonai žaliavos granuliuojant – 50 kWh/t. Energijos poreikis sugruntuoti 26,741 t žaliavos: $26,741 \text{ t} * 50 \text{ kWh/t} = 1337,05 \text{ kWh}$.

Žaliavos: dulkių nusodinimo, surinkimo ir oro filtravimo įrenginiai:

Elektros energijos poreikis vienai tonai žaliavos – 0,5 kWh/t

$26,741 \text{ t} * 0,5 = 13,37 \text{ kWh}$.

Ciklonas granulių vėsinimui, trupinių ir dulkių nusiurbimui:

Elektros energijos poreikis vienai tonai žaliavos – 7,83 kWh/t

$26,741 \text{ t} * 7,83 = 209,38 \text{ kWh}$.

Pakavimo į didmaišius įranga, skirta granulių pakavimui į maišus po 0,6 – 1,2 t. Juostiniu transporteriu granulės tiekiamos į bunkerį, iš kurio byra į maišus, uždėtus ant platformos su elektroninėmis svarstyklėmis.

Elektros energijos poreikis vienai tonai žaliavos – 0,75 kWh/t

$26,741 \text{ t} * 0,75 = 20,06 \text{ kWh}$.

Automatinė bėgių tepimo stotis, skirta užtikrinti pastovų bėgių tepimą:

Elektros energijos poreikis vienai tonai žaliavos – 0,03 kWh/t

$26,741 \text{ t} * 0,03 = 0,80 \text{ kWh}$

Bendras elektros energijos kiekis šiaudų granuliavimui – 1580,66 kWh.

Elektros energijos sąnaudos KDĮ nustatytos pagal VŠK gamintojų duotus elektros energijos sąnaudų indikatorius:

- biokuro katilui – 18,7 kWh_{el}/MWh,
- šiaudų katilui -17 kWh_{el}/MWh,
- šiaudų granulių katilui - 20 kWh_{el}/MWh

Susidariusių pelenų kiekis, apskaičiuotas sudeginus visą kurą pagal nustatytus kuro sausoje medžiagoje peleningumo rodiklius:

Deginant šiaudų granules: $24,707 \text{ t} * 0,92 * 0,04 - 0,0012 \text{ t} = 0,908 \text{ t}$

Deginant šiaudų ritinius: $24,845 \text{ t} * 0,85 * 0,04 - 0,0011 \text{ t} = 0,834 \text{ t}$

Šiaudų ritinių transportavimui parenkamas Belarus 1025,3 traktorius, kurio kuro sąnaudos siekia 18,9 l/100km. Supresuotos žaliavos transportavimui gali būti naudojamos savikrovės priekabos. Priekabos keliamoji galia siekia 6 – 17 tonų, t. y. galima transportuoti nuo 6 iki 16 ritinių (Biekša ir kt. 2007). Parenkama žemės ūkio priekaba (30 m³), skirta šiaudų, šieno ir šienainio ritiniams vežti. Ritinio masė siekia 150–250 kg, tankis – 90–130 kg/m³ (Žaltauskas 2008a). Šiaudų ritinys sveria vidutiniškai apie 200 kg, o maksimali priekabos keliamoji galia –16 t.

Įvertinama, kiek ritinių galima transportuoti vienu važiavimu: $16 \text{ ritinių} * 200 \text{ kg} = 3,2 \text{ t}$.

Įvertinama, kiek važiavimų reikia, norint transportuoti visą žaliavos kiekį: $24,845 \text{ t} / 3,2 = 7,76$ (suapvalinama iki 8 važiavimų).

Pirmu atveju šiaudų ritiniai yra renkami 50 km spinduliu ir tiesiai vežami į katilines. Antru atveju šiaudai surenkami 25 km spinduliu nuo granuliavimo gamyklos, sugranuluoti šiaudai yra transportuojami į artimiausią katilinę (maksimaliu atstumu – iki 25 km).

Dyzelinio kuro kiekis, reikalingas pervežti šiaudų ritinius iki katilinės: Įvertinto kiekio žaliavos transportavimui reikalingi 8 važiavimai. Bendras atstumas – 800 km. Žinant kuro sąnaudas įvertinamas reikalingas kuro kiekis: $18,9 \text{ l}/100 \text{ km} \times 800 \text{ km} = 151,2 \text{ litrų}$.

Dyzelinio kuro kiekis, reikalingas pervežti šiaudų ritinius iki granuliavimo įrenginio: Įvertinto kiekio žaliavos transportavimui reikalingi 8 važiavimai su pakrova ir 8 važiavimai be pakrovos. Bendras atstumas – 400 km. Dyzelinio kuro sąnaudos: $18,9 \text{ l}/100 \text{ km} \times 400 \text{ km} = 75,6 \text{ litrų}$.

Sugranuluoti šiaudai, kurių tankis $\sim 600 \text{ kg}/\text{m}^3$ pervežami iki katilinės.

Prenkamos priekabos keliamoji galia – 20 m^3 : $24,707 \text{ t} = 41,18 \text{ m}^3$.

Norint transportuoti šiaudų granules, reikalingi 3 važiavimai su pakrova ir 3 važiavimai be pakrovos. Bendras gautas atstumas – 150 km.

Dyzelinio kuro sąnaudos: $18,9 \text{ l}/100 \text{ km} \times 150 \text{ km} = 28,35 \text{ litrai}$.

Bendras dyzelinio kuro kiekis, reikalingas šiaudų ritinius transportuoti iki granuliavimo gamyklos ir iš jos pagamintas granules transportuoti iki katilinės yra 103,95 litrai.

Kuro kiekis, reikalingas pervežti šiaudų granules iki katilinės (dyzelino tankis – $0,820\text{--}0,845 \text{ kg}/\text{l}$).

Granulių transportavimas: $103,95 \text{ l} \times 0,820 \text{ kg}/\text{l} = 85,239 \text{ kg}$.

Šiaudų ritinių transportavimas: $151,2 \text{ l} \times 0,820 \text{ kg}/\text{l} = 123,984 \text{ kg}$.

Dyzelinio kuro sąnaudos kuro transportavimui iki katilinės:

Granulių transportavimas: $123,984 \times 0,04307 \times 1000/3,6 = 1483,33 \text{ kWh}$.

Šiaudų ritinių transportavimas: $85,239 \times 0,04307 \times 1000/3,6 = 1019,79 \text{ kWh}$.

Išlakos į aplinkos orą iš KDI, deginant šiaudų granules, įvertintos pagal 2–4 formules:

$$C_{\text{co}} = 0,5 \cdot 1 \cdot 16,19 = 8,095 \text{ t};$$

$$M_{\text{co}} = 0,001 \cdot 8,095 \cdot 24,707 \cdot (1-2/100) = 0,196 \text{ t};$$

$$M_{\text{No}_2} = 0,001 \cdot 24,707 \cdot 16,19 \cdot 0,17 \cdot (1-0) = 0,068 \text{ t};$$

$$M_{\text{k,d}} = 24,707 \cdot 4 \cdot 0,0035 \cdot (1-0,95) = 0,0017 \text{ t}.$$

Išlakos į aplinkos orą iš KDI, deginant šiaudų ritinius, įvertintos pagal 2–4 formules:

$$C_{\text{co}} = 0,5 \cdot 1 \cdot 14,49 = 7,245 \text{ t};$$

$$M_{\text{co}} = 0,001 \cdot 7,245 \cdot 24,845 \cdot (1-2/100) = 0,176 \text{ t};$$

$$M_{\text{No}_2} = 0,001 \cdot 24,707 \cdot 16,19 \cdot 0,17 \cdot (1-0) = 0,068 \text{ t};$$

$$M_{\text{k,d}} = 24,845 \cdot 4 \cdot 0,0035 \cdot (1-0,95) = 0,017 \text{ t}.$$

Elektros energijos netiesioginis poveikis aplinkos orui (ŠESD), įvertintas pagal 7 formulę:

Šieno granulių gaminimas ir deginimas: $\text{CO}_2 = 6,31 \text{ MWh} \cdot 0,2762 \text{ t CO}_2/\text{MWh} = 1,743 \text{ t CO}_2$.

Šieno ritinių gaminimas ir deginimas: $\text{CO}_2 = 3,18 \text{ MWh} \cdot 0,2762 \text{ t CO}_2/\text{MWh} = 0,878 \text{ t CO}_2$.

Dyzelinio kuro netiesioginis poveikis aplinkos orui (ŠESD), įvertintas pagal 6 formulę:

Šieno granulių transportavimas: ŠESD kiekis (t/m.) = $0,10395 \cdot 1 = 0,10395$ t.

Šieno ritinių transportavimas: ŠESD kiekis (t/m.) = $0,1512 \cdot 1 = 0,1512$ t.

Įvertinus emisijos faktorius, apskaičiuojama transportavimo metu vidaus degimo varikliuose, dėl dyzelinio kuro naudojimo susidariusi tarša (CO, NO_x, KD, N₂O):

Transportuojant šiaudų ritinius:

$$\text{CO} = 123,984 \cdot 7,58 = 939,8 \text{ g};$$

$$\text{NO}_x = 123,984 \cdot 33,37 = 4137,35 \text{ g};$$

$$\text{KD} = 123,984 \cdot 0,94 = 116,54 \text{ g};$$

$$\text{N}_2\text{O} = 123,984 \cdot 0,051 = 6,32 \text{ g}.$$

Transportuojant granules:

$$\text{CO} = 85,239 \cdot 7,58 = 646,11 \text{ g};$$

$$\text{NO}_x = 85,239 \cdot 33,37 = 2844,43 \text{ g};$$

$$\text{KD} = 85,239 \cdot 0,94 = 80,12 \text{ g};$$

$$\text{N}_2\text{O} = 85,239 \cdot 0,051 = 4,35 \text{ g}.$$

Tyrimo metu nustatyta, kad granuliuoti šiaudus, surinktus 50 km spinduliu nuo katilinės nėra efektyvu. Šiaudų atliekas, kurios nuo katilinių yra 50 km atstumu, efektyviausia susukti į ritinius, transportuoti į deginimo įrenginį ir deginti tiesiogiai specialioje pakuroje.

Energijos kiekis, reikalingas pagaminti 100 MWh šiluminės energijos deginant šiaudų granules (įsk. šiaudų ritinių surinkimą, smulkinimą, granuliavimą, transportavimą) beveik 41 % viršija energijos kiekį deginant šiaudų ritinius ir naudojant specialią pakurą. Šis teiginys tinkamas, kai žaliavos ar kuro transportavimas vykdomas 50 km atstumu. Buvo įvertinta, kad šis atstumas gali būti padidintas iki 300 km. Transportuojant šiaudų kurą didesniu nei 300 km atstumu mažiau energijos bus sunaudojama 1 alternatyvos atveju, kai energija gaminama deginant šiaudų granules.

Šiaudų granuliavimas yra būtinas jų eksportui, kadangi sugranuliuotų šiaudų tankis sumažėja nuo 4,62 iki 6,67 karto, o kartu proporcingai mažėja kuro išteklių ir mobilioji tarša.

Energijos regeneravimo koeficientas 1-os alternatyvos atveju – 0,9464, 2-os alternatyvos atveju – 0,9682. Literatūros analizės metu nustatyta, kad energijos regeneravimo koeficientas šiluminei energijai naudojant biokuro granules siekia 0,979 (Kliopova, Makarskienė, 2014). Reikia nepamiršti, kad šiaudai – žemės ūkio biologiškai skaidi atlieka (BSA), o BSA regeneravimo koeficientas siekia nuo 0,75 iki 0,86 (Kliopova, Makarskienė 2013, 2014). Dėl šių priežasčių galima daryti išvadą, kad šiaudų kuras, pagal energijos regeneravimo koeficientą, prilygsta pjuvenų biokurui, o šiaudų ritinių naudojimo atveju (2 alternatyva) skiriasi tik 1,1 % .

Atlikus tyrimą nustatyti teigiami ekonominiai ir aplinkosauginiai aspektai deginant šiaudų ritinius:

- Bendras įvertintas energijos poreikis norint pagaminti 100 MWh šiluminės energijos panaudojus šiaudų ritinius yra 40,64 % mažesnis nei šiaudų granulių.

- Norint pagaminti 100 MWh šilumos energijos deginant šiaudų ritinius išlakos į aplinkos orą yra mažesnės 7,12 % nei deginant šiaudų granules.
 - Netiesioginis elektros energijos poveikis aplinkos orui (ŠESD) yra didesnis 49,63 % šiaudų granulių gaminimui, nei šiaudų ritinių smulkinimui ir granuliavimui.
 - Pelenų kiekis deginant šiaudų ritinius yra mažesnis 8,15 % .
- Nustatyti neigiami ekonominiai ir aplinkosauginiai aspektai deginant šiaudų ritinius:
- Dėl didelio šiaudų tankio transportuojant šiaudų ritinius yra sunaudojama 31,25 % daugiau energijos, nei transportuojant šiaudų granules.
 - Transportuojant šiaudų ritinius susidaro 31,25 % didesnė mobilioji tarša.

3.2. ŠG prevencinio metodo – žemės ūkio atliekų (šiaudų) antrinio panaudojimo galimybių įvertinimas (ūkininko lygmenyje).

Analizuojamas standartinis gyvenamasis namas, kurio bendras plotas – apie 200 m². Papildomai apšildomas 100 m² ūkinis pastatas. Ūkinio pastato dalyje įmontuotas VŠK katilas, kuris gamina ir teikia šilumą tiek namui, tiek ūkiniam pastatui. Lyginamajai analizei vertinamos kelios esamos šilumos gamybos alternatyvos:

- 1) šilumos energijos gamybai ūkininko VŠK deginamos gamtinės dujos;
- 2) šilumos energijos gamybai ūkininko VŠK deginama akmens anglis;
- 3) šilumos energijos gamybai ūkininko VŠK deginamas dyzelinis kuras.

Akmens angliai, gamtinėms dujoms ir dyzeliniam kurui būdingas itin didelis kalingumas. Deginimo metu nedideliuose KDĮ su dūmais į aplinką išskiriamas aukštas šilumos kiekis. Įsirengus iškastiniu kuru kūrenamą katilą, ūkis tampa priklausomas nuo importuojamo kuro. Siūloma šilumos energijos gamybai naudoti ūkyje susidariusias atliekas – šiaudus, kurie šiuo metu tvarkomi įvairiai: dalis – presuojama į ritinius ir parduodama, kita dalis – surenkama ir naudojama pašarams, taip pat nemažai šiaudų atliekų lieka laukuose.

Techninis įvertinimas

3.1 skyriuje pateiktos lyginamosios analizės metu nustatyta, kad tuo atveju, jeigu atstumas nuo šiaudų susidarymo iki šiaudų naudojimo energijos gamybai neviršija 300 km, energetiškai efektyviau šilumos energiją gaminti deginant šiaudų ritinius. Todėl šioje alternatyvoje ūkininkui šilumos energijos gamybai siūloma įdiegti būtent šiaudų ritiniais kūrenamą katilą (žr. 3.2.1 pav.).

Pasirinktas šiaudų ritiniais kūrenamas katilas, naudojamas gyvenamųjų pastatų šildymui ir karšto vandens ruošimui. Katilo techniniai duomenys pateikti 3.2.1 lentelėje. Katilo galia pasirinkta atsižvelgus į namo ir ūkinio pastato kvadratūrą. Katilą sudaro pakura ir šilumokaitis. Duryse cirkuliuoja vanduo. Prie katilo šildymo sistemos reikia prijungti ir akumuliacinį baką. Vandens temperatūra yra palaikoma automatiniu būdu. Šiaudų ryšuliai į katilą paduodami rankiniu būdu. Katilas kūrenamas presuotais 57x63 cm dydžio šiaudų ryšuliais. Šiaudai surenkami iš ūkininko laukų ir supresuojami į mažus ryšulius. Ryšulių tankis vidutiniškai svyruoja nuo 70 iki 90 kg/m³, vieno ryšulio masė siekia 12–15 kg. Degimo produktai (pelenai) nuo katilo pakuros dugno pašalinami rankiniu būdu. Mechaniškai pašalinti pelenai ūkyje naudojami kaip natūrali trąša.

3.2.1 lentelė. R tipo šiaudų ryšuliais kūrenamo katilo techniniai duomenys

Katilo tipas	R 30
Galia, kW	30
Naudingumo koeficientas, %	87
Apšildomas plotas, m ²	300
Degimo kameros skersmuo ir ilgis, cm	30x125
Gabaritiniai katilo matmenys, cm	174x100x131
Šiaudų sąnaudos (vidutinės), kg/h	7,5
Vandens talpa katile, l	400
Dūmavamzdžio skersmuo (išorinis), cm	21,5

(Umega 2010)

Šiaudų ryšuliai sandėliuojami ūkio patalpose. Vienu metu galima saugoti iki 20 tonų šiaudų. Žinant šiaudų tankį, 20 tonų šiaudų ryšulių užima apie 222 m³. Ūkininko teritorijoje gali būti laikomas visų metų kuro rezervas. Transportavimo kaštai nėra vertinami, nes visais atvejais šiaudai iš laukų turi būti surenkami ir sandėliuojami ar parduodami. Šiaudų kuro kaina ūkininkui yra skaičiuojama pagal rinkos kainą.



3.2.1 paveikslas. R tipo katilas 30 kW (Umega 2010)

Toliau pateikiamas katilo kuro – energijos balanso rodyklių vertinimas:

Elektros energijos sąnaudos KDI nustatyti pagal VŠK gamintojų duotus elektros energijos sąnaudų indikatorius:

- šiaudų katilui – 8 kWh_{el}/MWh,
- gamtinių dujų katilui – 11 kWh_{el}/MWh,
- akmens anglies katilui – 8 kWh_{el}/MWh,
- dyzelinio kuro katilui – 14 kWh_{el}/MWh.

Šilumos energijos kiekis, reikalingas apšiltinti tam tikro ploto patalpas (preliminarus teorinis įvertinimas) apskaičiuojamas pagal 9 formulę:

$Q = 1040 \times 1,2 \times 1630 \times (22 - (-5)) = 0,055 \text{ GJ/val.} = 0,0153 \text{ MWh/val.}$ arba 69,156 MWh per šildymo sezoną (4200 val.).

Reikalingas kuro kiekis, norint pagaminti 69,156 MWh šilumos energijos apskaičiuojamas pagal 1 formulę:

Šiaudų kiekis: MWh: $B = 69,156 \text{ MWh} \times 3,6 / (14,49 \times 0,87) = 19,76 \text{ t}$.

Šilumos energijos gamybos nuostoliai sudarytų 10,33 MWh/m.

Įvertinama, kiek energijos bus sunaudojama šiaudų katilo reikmėms:

$8 \text{ kWh/MWh} \times 69,156 \text{ MWh} = 553,248 \text{ kWh}$.

Kadangi augalininkystės ūkiuose susidaro iki 6 t šiaudų iš vieno hektaro (Arlauskienė ir kt. 2009), pageidaujamo ploto apšiltinimui derlius turėtų būti nuimamas nuo 3,3 ha ploto.

Gamtinių dujų kiekis (n. k. – iki 92%): $B = 69,156 \text{ MWh} \times 3,6 / (33,49 \times 0,92) = 8080,34 \text{ nm}^3$.

Šilumos energijos gamybos nuostoliai sudaro 6,01 MWh/m.

Įvertinama, kiek energijos bus sunaudojama gamtinių dujų katilo reikmėms:

$11 \text{ kWh/MWh} \times 69,156 \text{ MWh} = 760,716 \text{ kWh}$.

Akmens anglies kiekis (n. k. – iki 80%): $B = 69,156 \text{ MWh} \times 3,6 / (25,12 \times 0,8) = 12,39 \text{ t}$.

Šilumos energijos gamybos nuostoliai sudaro net 17,29 MWh/m.

Įvertinama, kiek energijos bus sunaudojama akmens anglies katilo reikmėms:

$8 \text{ kWh/MWh} \times 69,156 \text{ MWh} = 553,248 \text{ kWh}$.

Dyzelino kuro kiekis (n. k. – iki 90 %):

$B = 69,156 \text{ MWh} \times 3,6 / (43,07 \times 0,90) = 6423 \text{ kg}$ arba 7832,9 l.

Šilumos energijos gamybos nuostoliai sudaro 6,57 MWh/m.

Įvertinama, kiek energijos bus sunaudojama dyzelinio kuro katilo reikmėms:

$14 \text{ kWh/MWh} \times 69,156 \text{ MWh} = 968,184 \text{ kWh}$.

Aplinkosauginis įvertinimas

Toliau pateikiami šiaudų ryšuliais, gamtinėmis dujomis, akmens anglimi ir dyzeliniu kuru kūrenimo metu daromo poveikio aplinkos orui, klimato kaitai ir susidariusių atliekų kiekio skaičiavimai:

Elektros energijos netiesioginis poveikis aplinkos orui (ŠESD) deginant kurą apskaičiuojamas pagal 7 formulę:

Naudojant elektros energiją šiaudais kūrenamame katile:

$\text{CO}_2 = 0,55325 \text{ MWh} \cdot 0,2762 \text{ t CO}_2 / \text{MWh} = 0,136 \text{ t CO}_2 / \text{m}$.

Naudojant elektros energiją gamtines dujas kūrenamame katile:

$\text{CO}_2 = 0,761 \text{ MWh} \cdot 0,2762 \text{ t CO}_2 / \text{MWh} = 0,21 \text{ t CO}_2 / \text{m}$.

Naudojant elektros energiją akmens anglį kūrenamame katile:

$\text{CO}_2 = 0,55325 \text{ MWh} \cdot 0,2762 \text{ t CO}_2 / \text{MWh} = 0,136 \text{ t CO}_2 / \text{m}$.

Naudojant elektros energiją dyzelinį kurą kūrenamame katile:

$\text{CO}_2 = 0,968 \text{ MWh} \cdot 0,2762 \text{ t CO}_2 / \text{MWh} = 0,267 \text{ t CO}_2 / \text{m}$.

Išlakos į aplinkos orą iš KDI, deginant šiaudus, įvertintos pagal 2–4 formules ir emisijos faktorius:

$M_{\text{NO}_2} = 0,001 \cdot 19,76 \cdot 14,49 \cdot 0,17 \cdot (1-0) = 0,049 \text{ t/m}$.

$C_{\text{co}} = 1 \cdot 1 \cdot 14,49 = 14,49 \text{ kg/t}$;

$M_{\text{co}} = 0,001 \cdot 14,49 \cdot 19,76 \cdot (1-2/100) = 0,281 \text{ t/m}$.

$M_{\text{k,d}} = 19,76 \cdot 4 \cdot 0,0035 \cdot (1-0,95) = 0,263 \text{ t/m.}$;

$$(M_{SO_2} = 11 \text{ g/GJ}): M_{SO_2} = 11 \cdot 286,8 = 0,00315 \text{ t.}$$

Išlakos į aplinkos orą iš KDI, deginant gamtines dujas, įvertintos pagal 2–4 formules ir emisijos faktorius:

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 8,08 \cdot 33,49 \cdot 0,075 \cdot (1-0) = 0,0203 \text{ t/m.}$$

$$C_{CO} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 33,49 = 8,3725 \text{ kg/tūkst. nm}^3;$$

$$G_{CO} = 0,001 \cdot 8,3725 \cdot 8,08 \cdot (1-0,5/100) = 0,0673 \text{ t/m.};$$

$$M_{k,d} = 1,2 \cdot 270,6 = 325 \text{ g} = 0,0000352 \text{ t/m.};$$

$$(M_{SO_2} = 0,3 \text{ g/GJ}): M_{SO_2} = 0,3 \cdot 270,6 = 0,00081 \text{ t/m.}$$

Išlakos į aplinkos orą iš KDI, deginant akmens anglį, įvertintos pagal 2–4 formules ir emisijos faktorius:

$$G_{NO_2} = 0,001 \cdot 12,39 \cdot 25,12 \cdot 0,2 \cdot (1-0) = 0,062 \text{ t/m.};$$

$$C_{CO} = 0,5 \cdot 1 \cdot 25,12 = 12,56 \text{ kg/t};$$

$$G_{CO} = 0,001 \cdot 12,56 \cdot 12,39 \cdot (1-0,5/100) = 0,148 \text{ t/m.};$$

$$G_{k,d} = 12,39 \cdot 10 \cdot 0,0023 \cdot (1-0) = 0,285 \text{ t/m.};$$

$$(M_{SO_2} = 900 \text{ g/GJ}): M_{SO_2} = 900 \cdot 311 = 0,2799 \text{ t/m.}$$

Išlakos į aplinkos orą iš KDI, deginant dyzelinį kurą, įvertintos pagal 2–4 formules ir emisijos faktorius:

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 6,423 \cdot 43,07 \cdot 0,75 \cdot (1-0) = 0,277 \text{ t/m.};$$

$$C_{co} = 0,5 \cdot 0,65 \cdot 43,07 = 14 \text{ kg/t};$$

$$M_{co} = 0,001 \cdot 14 \cdot 6,423 \cdot (1-0,5/100) = 0,088 \text{ t/m.};$$

$$(M_{k,d} = 20 \text{ g/GJ}) M_{k,d} = 20 \cdot 276,6 = 0,0055 \text{ t/m.};$$

$$(M_{SO_2} = 47 \text{ g/GJ}): M_{SO_2} = 47 \cdot 276,6 = 0,0013 \text{ t/m.}$$

ŠESD – CO₂ išlakos, deginant iškastinį kurą, įvertintos pagal 5 formulę:

$$\text{Deginant gamtines dujas: CO}_2 \text{ emisijos} = 8,08 \text{ tūkst. nm}^3 \times 33,49 \text{ GJ/tūkst. nm}^3 \times 56,9 \text{ tCO}_2/\text{TJ} / 1000 = 15,397 \text{ t/m.}$$

$$\text{Deginant akmens anglį: CO}_2 \text{ emisijos} = 12,39 \text{ t/m.} \times 0,02512 \text{ TJ/t} \times 95 \text{ t CO}_2/\text{TJ} = 29,567 \text{ t/m.}$$

$$\text{Deginant dyzelinį kurą: CO}_2 \text{ emisijos} = 6,423 \text{ t/m.} \times 0,04307 \text{ TJ/t} \times 74 \text{ t CO}_2/\text{TJ} = 20,47 \text{ t/m.}$$

Akmens anglies peleningumas siekia iki 10 proc. (Kennedy 1990), šiaudų – 4 proc. Apskaičiuojamas sudeginto kuro kiekio peleningumas:

- Akmens anglies deginimo metu susidaręs pelenų kiekis: $12,39 \cdot 0,1 - 0,0989 = 1,14 \text{ t.}$

- Šiaudų deginimo metu susidaręs pelenų kiekis: $19,76 \cdot 0,85 \cdot 0,04 - 0,0048 = 0,7904 \text{ t.}$

Alternatyvų aplinkosauginio įvertinimo ir sutaupomų lėšų skaičiavimo rezultatai pateikti 3.2.3 – 3.2.5 lentelėse.

Pakeitus gamtinėmis dujomis kūrenamą katilą į šiaudų katilą būtų pasiekta aplinkosauginė nauda:

- ŠESD (CO₂) emisijos (dėl el. sąnaudų ir degimo metu) sumažėtų 99,13 % .

- Elektros sąnaudos šilumos energijos gamyboje sumažėtų 27,27 % .

Neigiami aplinkosauginiai aspektai:

- Dėl sumažėjusio katilo n. k. kuro sąnaudos padidėtų 5,56 % (0,38 tne).

- Degimo produktų išlakų kiekis (KD, CO, NO₂, SO₂) į aplinkos orą padidėtų 55,16 % .

Pakeitus akmens anglimi kūrenamą katilą į šiaudų katilą būtų pasiekta aplinkosauginė nauda::

- Dėl padidėjusio katilo n. k. kuro sąnaudos sumažėtų 7,94 % (0,59 tne).
- ŠESD (CO₂) emisijos (dėl el. sąnaudų ir degimo metu) sumažėtų 99,54 % .
- Išlakų kiekis (KD, CO, NO₂, SO₂) į aplinkos orą sumažėtų 66,5 % .
- Pelenų kiekis sumažėtų 41,5 % .

Neigiamų aplinkosaugos aspektų pakeitus akmens anglies katilą į šiaudų katilą nenustatyta.

Po dyzelinio kuro katilo pakeitimo į šiaudų katilą būtų pasiekta nauda aplinkai:

- ŠESD (CO₂) emisijos (dėl el. sąnaudų ir degimo metu) sumažėtų 99,49 % .
- Elektros sąnaudos šiluminės energijos gamyboje sumažėtų 42,86 % .
- Išlakų kiekis (KD, CO, NO₂, SO₂) į aplinkos orą sumažėtų 7,17 % .

Po dyzelinio kuro katilo pakeitimo į šiaudų katilą buvo nustatytas neigiamas aplinkosauginiais aspektais – dėl sumažėjusio katilo n. k. kuro sąnaudos padidėjo 3,4 % (0,233 tne).

Ekonominis įvertinimas

Alternatyvų sutaupomų lėšų skaičiavimo rezultatai pateikti 3.2.3–3.2.5 lentelėse. Alternatyvose vertinama, kad ūkininkas po projekto įdiegimo negaus pajamų nuo šiaudų pardavimų.

- Pakeitus gamtinių dujų katilą į šiaudų katilą, ūkininkas galėtų per metus sutaupyti apie 2754 Eur. Apskaičiuota, kad projektas ūkininkui atsipirktų per 2 metus.

- Pakeitus akmens anglimi kūrenamą katilą į šiaudų katilą, per metus būtų sutaupoma apie 1166,9 Eur. Taip pat apskaičiuota, kad projektas ūkininkui atsipirktų per 4,61 metų.

- Pakeitus dyzeliniu kuru kūrenamą katilą į šiaudų katilą, per metus būtų sutaupoma apie 3434,21 Eur. Apskaičiuota, kad projektas ūkininkui atsipirktų per 1,6 metų.

Numatomos preliminarios siūlomo projekto įgyvendinamumo investicijos pateiktos 3.2.2 lentelėje. Investicinės rizikos laipsnis yra tiesiogiai proporcingas atsipirkimo trukmės mažėjimui, t. y. mažesnė trukmė – mažesnė investicijų rizika. Visi projektai ekonominiu požiūriu yra naudingi tiek dėl išteklių taupymo, tiek dėl išlaidų.

3.2.2 lentelė. Šiaudų katilo ir papildomų priedų preliminarios kainos.

Nr.		Vnt.	Preliminari kaina, Eur (su PVM)
1	Katilas	1	3200
2	Akumuliacinė talpa 2000 l. su izoliacija „ANTARA“	1	735
3	Cirkuliaciniai siurbliai, uždarymo ventiliai, matavimo prietaisai, apsaugos įrenginiai, vamzdžiai ir kt.	1	869 – 1 159 (Vidurkis ~1014)
4	Katilo aprišimo darbų kaina, seno katilo demontavimas.	1	434
Pradinės investicijos:			5383 Eur

Bet kuriuo atveju, iškastinio kuro pakeitimas ūkininko vykdomoje veikloje susidariusiomis atliekomis ūkininkui yra ekonominiu požiūriu naudingas. Geriausi ekonominio įvertinimo rezultatai gali būti pasieki tuo atveju, kai šilumos energija gaminama, deginant dyzelinį kurą arba akmens anglį. Bet kurio atveju vietinio šiaudų

kuro naudojimas šilumos energijos gamybai turi didesnę aplinkosauginę naudą, palyginus su iškastinio kuro naudojimu dėl šių aspektų:

- atliekos tvarkymas jos sukūrimo šaltinyje, panaudojant energetinį ir medžiaginį potencialą;
- mobilios oro taršos eliminavimas dėl kuro transportavimo;
- ŠESD – CO₂ mažinimas;
- Dauguma atvejų – elektros energijos sąnaudų mažinimas šilumos energijos gamybai.

3.2.3 lentelė. Gamtinių dujų katilo pakeitimo į šiaudų ritinių katilą ekonominis įvertinimas

Rodikliai	Iki modernizavimo			Po modernizavimo			Sutaupoma (sumažėja)		
	matavimo vnt./m.	Eur/vnt.	Eur/m.	matavimo vnt./m.	Eur/vnt.	Eur/m.	matavimo vnt./m.	Eur/vnt.	Eur/m.
Šiluminės energijos gamyba	n.k – 92 proc. 69,156 MWh.			0,03 MW (n.k. – 87 proc.) 69,156 MWh..			-		
Kuro sąnaudos, tne	6,46			6,84			-0,38		
Gamtinių dujų sąnaudos, nm ³	8080,34	0,42*	3393	-	-	-	8080,34	-0,42	3393
Šiaudų sąnaudos, t	-	-	-	19,76	30	691,6	-19,76	-30	-691,6
Elektros sąnaudos šiluminės energijos gamyboje, kWh	760,716	0,127**	96,61	553,248	0,127	70,26	207,468	0,127	26,35
ŠESD (CO ₂) emisijos (dėl el. sąnaudų/degimo metu), t	15,607	-	-	0,136	-	-	15,471		
Išlankos į aplinkos orą, kg	<u>88,4:</u>		-	<u>345,15:</u>			<u>-256,75:</u>	-	-
kietosios dalelės (A)	0,0352			14			-13,96		
anglies monoksidas (A)	67,3			281			-213,7		
azoto oksidai (A)	20,3			49			-28,7		
Sieros dioksidas (A)	0,81			3,15			-2,34		
Pelenų utilizavimas (perdavimas atliekų tvarkytojams), t	-	-	-	0,667	Susidarę pelenai gali būti naudojami kaip trąša.		-	-	-
								Σ	2727,75 Eur/m.

* UAB „Lietuvos dujos tiekimas“ tarifai buitiniams vartotojams 2016 m. I pusm. (su PVM). Vartotojų grupė Nr. 2.

** AB „ESO“ Tarifų planai ir kainos 2016. Vienos laiko zonos tarifų planų kainos. Standartinis.

3.2.4 lentelė. Akmens anglies katilo pakeitimo į šiaudų ritinių katilą ekonominis įvertinimas

Rodikliai	Iki modernizavimo			Po modernizavimo			Sutaupoma (sumažėja)		
	matavimo vnt./m.	Eur/vnt.	Eur/m.	matavimo vnt./m.	Eur/vnt.	Eur/m.	matavimo vnt./m.	Eur/vnt.	Eur/m.
Šiluminės energijos gamyba	n.k – 80 proc. 69,156 MWh.			0,03 MW (n.k. – 87 proc.) 69,156 MWh..			-		
Kuro sąnaudos, tne	7,43			6,84			0,59		
Akmens anglies sąnaudos, t	12,39	150	1858,5	-	-	-	12,39	150	1858,5
Šiaudų sąnaudos, t	-	-	-	19,76	30	691,6	-19,76	-30	-691,6
Elektros sąnaudos šiluminės energijos gamyboje, kWh	553,248	0,127*	70,26	553,248	0,127	70,26	0	-	0
ŠESD (CO ₂) emisijos (dėl el. sąnaudų/degimo metu), t	29,703	-	-	0,136	-	-	29,573	-	-
Išlakos į aplinkos orą, kg	<u>774,9:</u>		-	<u>345,15:</u>			<u>429,75:</u>	-	-
kietosios dalelės (A)	285			14			271		
anglies monoksidas (A)	148			281			-133		
azoto oksidai (A)	62			49			13		
Sieros dioksidas (A)	279,9			3,15			276,75		
Pelenų utilizavimas (perdavimas atliekų tvarkytojams), t	1,14	Susidarę pelenai šalinami mišrių atliekų konteineryje		0,667	Susidarę pelenai gali būti naudojami kaip trąša.		0,473	-	-
								Σ	1166,9 Eur/m.

* AB „ESO“ Tarifų planai ir kainos 2016. Vienos laiko zonos tarifų planų kainos. Standartinis.

3.2.4 lentelė. Dizelinio kuro katilo pakeitimo į šiaudų ritinių katilą ekonominis įvertinimas

Rodikliai	Iki modernizavimo			Po modernizavimo			Sutaupoma (sumažėja)		
	matavimo vnt./m.	Eur/vnt.	Eur/m.	matavimo vnt./m.	Eur/vnt.	Eur/m.	matavimo vnt./m.	Eur/vnt.	Eur/m.
Šiluminės energijos gamyba	n.k – 90 proc. 69,156 MWh.			0,03 MW (n.k. – 87 proc.) 69,156 MWh..			-		
Kuro sąnaudos, tne	6,607			6,84			-0,233		
Dizelinio kuro sąnaudos, l	7832,9	0,52*	4073,1	-	-	-	7832,9	0,52	4073,11
Šiaudų sąnaudos, t	-	-	-	19,76	30	691,6	-19,76	-30	-691,6
Elektros sąnaudos šiluminės energijos gamyboje, kWh	968,184	0,127**	122,96	553,248	0,127	70,26	414,936	0,127	52,7
ŠESD (CO ₂) emisijos (dėl el. sąnaudų/degimo metu), t	26,56	-	-	0,136	-	-	26,424	-	-
Išlakos į aplinkos orą, kg	<u>371,8:</u>		-	<u>345,15 :</u>			<u>26,65:</u>	-	-
kietosios dalelės (A)	5,5			14			-8,5		
anglies monoksidas (A)	88			281			-193		
azoto oksidai (A)	277			49			228		
Sieros dioksidas (A)	1,3			3,15			-1,85		
Pelenų utilizavimas (perdavimas atliekų tvarkytojams), t	-		-	0,667	Susidarę pelenai gali būti naudojami kaip trąša.		0,473	-	-
								Σ	3434,21 Eur/m.

*<http://www.degalukainos.lt/>

** AB „ESO“ Tarifų planai ir kainos 2016. Vienos laiko zonos tarifų planų kainos. Standartinis.

Aplinkosauginio veiksmingumo įvertinimas

Nustačius santykinis AAI ir atlikus gamtinių dujų, akmens anglies ir dyzelinio kuro katilo pakeitimo į šiaudų katilą bendrą aplinkosaugos veiksmingumo įvertinimą, nustatyta, kad bendra aplinkosauginė būklė pagerėtų (žr. 3.2.1 lentelę).

3.2.5 lentelė. Iškastinio katilo pakeitimo į AEI - šiaudų katilą aplinkosauginio įvertinimo lyginamosios analizės rezultatai

Įvedinių ir išvedinių srautai	AAI _{iki1} Vnt./tne	AAI _{iki2} Vnt./tne	AAI _{iki3} Vnt./tne	AAI _{po} Vnt./tne	AAV ₁ Vnt./tne	AAV ₂ Vnt./tne	AAV ₃ Vnt./tne
Kuro, tne/tne							
Gamtinių dujų	1,09				-0,06		
Akmens anglių		1,25				0,1	
Dyzelinio kuro			1,11				-0,04
Šiaudų kuro				1,15			
Elektros energija, kWh/tne	127,85	92,98	162,72	92,98	34,87	0	69,74
ŠESD (CO ₂), t/tne	2,62	4,99	5,46	0,02	2,6	4,97	5,44
Oro tarša (KD, CO, NO _x , SO ₂), kg/tne	14,85	130,24	62,49	58,01	-43,16	72,23	4,48

Pastabos:

Produktas - šilumos energijos gamyba – iki 69,156 MWh/m. (5,95 tne) ;

AAV₁ – 1 alternatyvos (šiaudų kuro naudojimo vietoj gamtinių dujų) diegimo laukiamas aplinkos apsaugos veiksmingumas;

AAV₂ – 2 alternatyvos (šiaudų kuro naudojimo vietoj akmens anglių) diegimo laukiamas aplinkos apsaugos veiksmingumas;

AAV₃ – 3 alternatyvos (šiaudų kuro naudojimo vietoj dyzelinio kuro) diegimo laukiamas aplinkos apsaugos veiksmingumas.

3.3. Pramoninės simbiozės ir Švaresnės gamybos metodų taikymas energetikos sektoriuje

Problemos identifikavimas

Analizei pasirinkta Šiaulių apskrityje esama katilinė. Būtent šiame Lietuvos regione šiaudų potencialas yra didžiausias Lietuvoje.

Analizuojamas objektas - UAB „Pakruojos šiluma“ Pakruojos kaime esanti Dvaro katilinė, įkurta 1981 metais.

2015 metais Dvaro katilinėje veikė du katilai:

- 1995 metais pastatytas VK 21 gamtinių dujų katilas (1,86 MW);
- 1997 metais pastatytas VK 21 gamtinių dujų katilas (1,86 MW).

Įmonėje naudojamas vienas gamtinių dujų katilas VK 21 (1,86 MW). Sugedus ar nustojus veikti vienam katilui, kitas naudojamas kaip atsarginis.

2015 metais katilinėje buvo sudeginta 127,31 tūkst. nm³ gamtinių dujų, ir pagaminta 774,6 MWh šilumos energijos. Šilumos energijos nuostoliai gamybos metu sudarė net 239,4 MWh, t. y. 24 % nuo gaminamos produkcijos.

Įmonės pateiktais duomenimis, 2015 metais už tūkst. nm³ gamtinių dujų įmonė mokėjo 483,4 Eur. Pakruojos rajone šilumos kaina yra viena iš didžiausių Lietuvoje, nes katilai yra seni ir neefektyvūs, su mažu naudingumo koeficientu. Didelė dalis šilumos energijos yra prarandama per tinklus. Svyruojant gamtinių dujų kainai ir esant didžiausiam šiaudų potencialui regione, nuspręsta ieškoti naujų galimybių šilumos energijos

gamybai ir mažinti priklausomybę nuo importuojamo kuro. Alternatyvoje siūloma taikyti kompleksinius pramoninės simbiozes ir ŠG metodus:

Katilinėje taikomas ŠG prevencinis metodas – įėjimų pakeitimas;

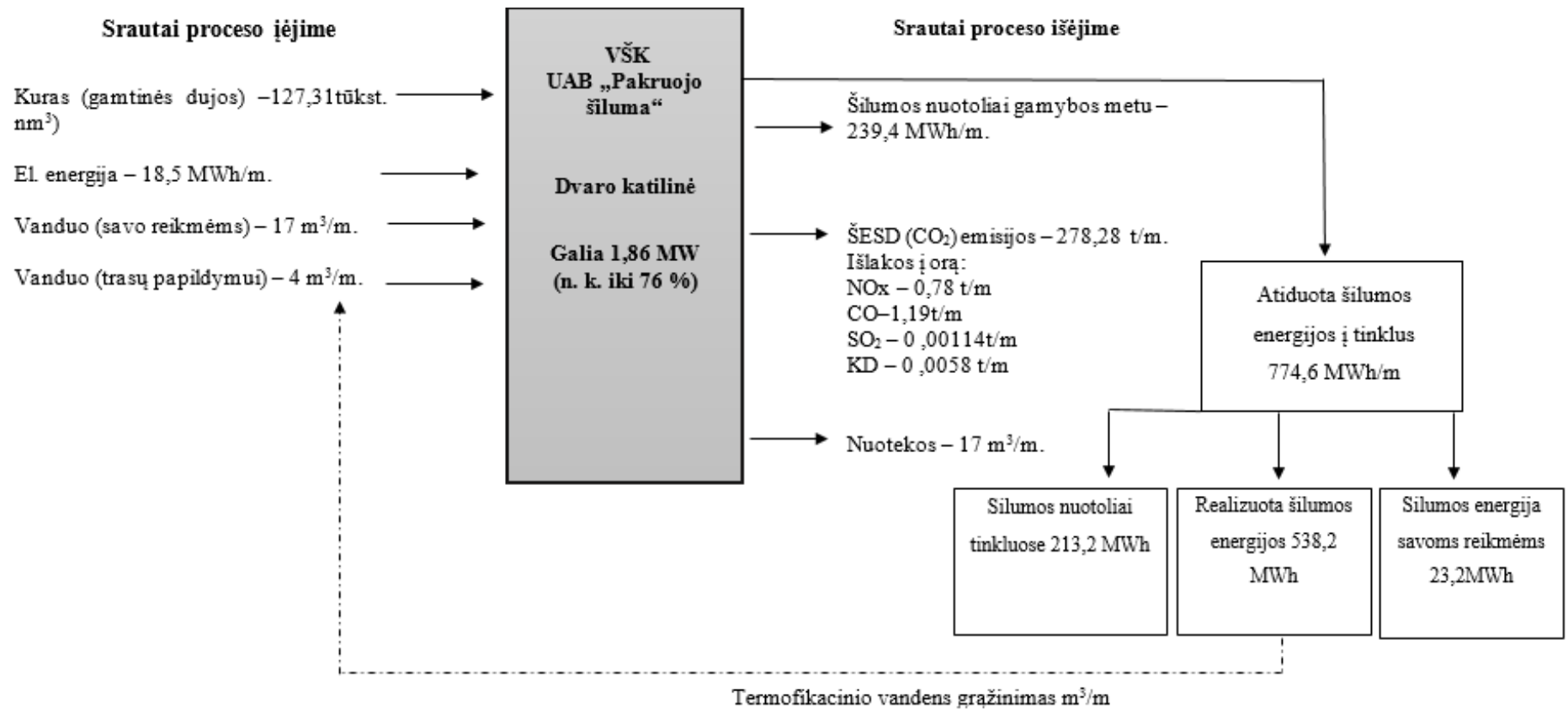
Katilinėje taikomi pramoninės simbiozės metodai:

Šiaulių regiono žemės ūkio atliekos tampa žaliava kitos pramonės įmonės naujo produkto (šiuo atveju – šilumos energijos) gamybai;

Šilumos energijos gamybos atlieka – biokuro pelenai gali būti naudojama kaip trąša žemės ūkyje.

Įdiegus šias naujoves žymiai padidėtų vietinių energijos šaltinių vartojimas, kuris atneštų visapusę naudą.

Visi 2015 metų Dvaro katilinės procesai pateikiami medžiagų ir energijos balanse (žr. 3.3.1 pav.).



3.3.1 paveikslas. UAB „Pakruojo šiluma“ dvaro katilinės medžiagų ir energijos balansas, 2015 m.

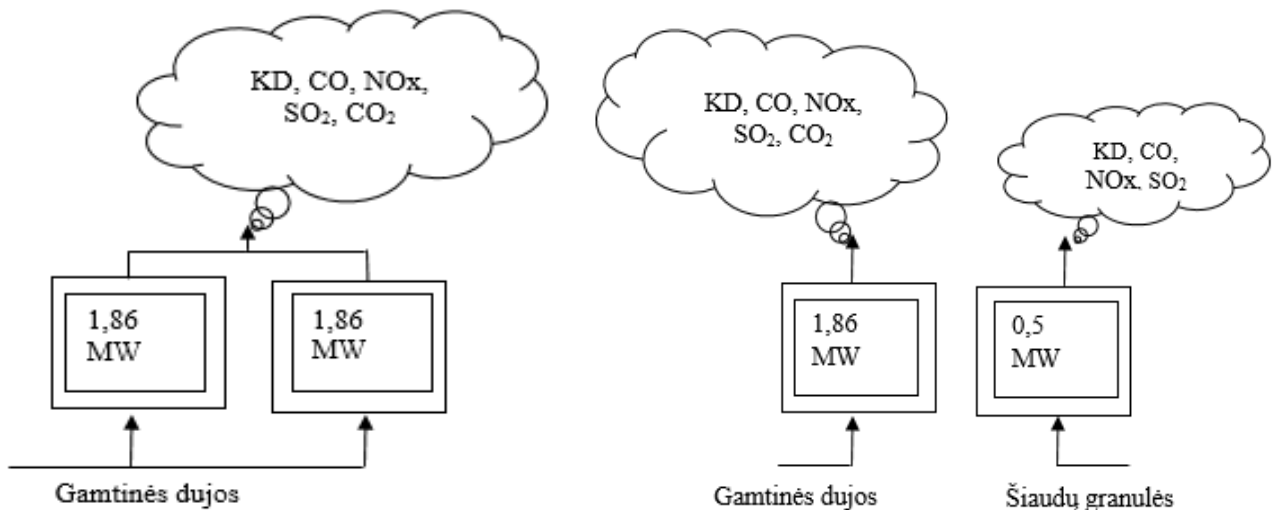
3.3.1 lentelė. UAB „Pakruojo Šiluma“ Dvaro katilinės charakteristika 2014 – 12 -31 .

Katilinės pavadinimas, katilo markė	Dvaro KK, VK21.
Kamino aukštis, m	17,5
Našumas MW	Inastaliuotas – 3,72 Naudojamas – 1,86
Naudingumo koeficientas, %	0,76
Kuro rūšis	Gamtinės dujos
Suvartojamas kuro kiekis, tūkst. nm³	127,31
Vartotojų pastatų skaičius, vnt	5
Šildomas plotas, m²	4499

(UAB „Pakruojo šiluma 2014)

Techninis įvertinimas

Nuspręsta demontuoti seną neefektyvų gamtinių dujomis kūrenamą 1,86 MW galios VŠK. Senąją katilinę planuojama pakeisti į kūrenamą šiaudų granulėmis 0,5 MW VŠK. Šiuo atveju siūlomos būtent šiaudų granulės. Svarbiausias aspektas – pilnai automatizuoti biokuro granulių katilai, todėl nereikės įdarbinti naujų darbuotojų. Katilas gali būti valdomas ir stebimas nuotoliniu būdu, valdymo sąsają galima įdiegti mobiliajame telefone. Pelenai taip pat šalinami automatizuotai: surenkami į 900 litrų konteinerį. Susidarę pelenai gali būti atiduodami ūkininkams, kurie galėtų juos panaudoti kaip trąšą. Degimo palaikymui ir katilo našumo reguliavimui katilo pakuroje yra sumontuoti pirminis ir antrinis oro tiekimo ventiliatoriai. Oras imamas iš katilinės patalpos. 3.3.1 paveiksle pateikta esamos situacijos ir planuojamos alternatyvos principinė schema. Abudu gamtinių dujų katilai sujungti į vieną sistemą ir naudoja vieną kaminą. Įdiegus siūlomą alternatyvą, reiktų įrengti naują nerūdijančio plieno kaminą.



3.3.2 paveikslas. Šilumos energijos gamybos principinė schema (kairėje – esama situacija, dešinėje – siūloma).

Šiaudų granulės perkamos iš įmonių. Granulės būtų pristatomos jas parduodančios įmonės transportu ir suberiamos į numatytą bunkerį. Katilinės teritorijoje kuro rezervas laikomas 3 dienas (iki 4 t). Šiaudų granulės iš rezervo automatinio būdu paduodamos į katilą.

3.3.2 lentelėje pateikta šiaudų granulių katilo specifikacija. Katilas pasirinktas atsižvelgus į apšildomą plotą. Daugiabučių apšildomas plotas sudaro 4499 m². Didesnio galingumo katilas pasirinktas atsižvelgus į galimą

apšildomo ploto ateityje didėjimą. Naujo pasirinkto katilo n. k. už senąjį didesnis net 14 %. Esant didesniai n. k. bus prarandama mažiau šiluminės energijos.

3.3.2 lentelė. Heizomat RHK 504 katilo duomenys.

Katilo tipas	RHT 504
Galia, kW	500
Naudingumo koeficientas, %	90
Apšildomas plotas, m ²	5000
Gabaritiniai katilo matmenys, cm	4290 x 1880 x 2035
Pelenų konteinerio talpa, l	240 – 900
Vandens talpa katile, l	1805

(Heizomat 2016)

Toliau pateikiami energetiniai skaičiavimai:

Reikalingas kuro kiekis, norint pagaminti 774,6 MWh šilumos energijos apskaičiuojamas pagal 1 formulę:
 $B = 774,6 \text{ MWh} \times 3,6 / (16,19 \times 0,9) = 2788,56 / 14,571 = 191,38 \text{ t}$.

Įdiegus šiaudų granulėmis kūrenama katilą, kasmet būtų sudeginama apie 191,38 tonos šiaudų granulių ir būtų pagaminama 774,6 MWh energijos. Norint sugrąžinti ir sukūrenti apskaičiuotą šiaudų granulių kiekį katilinėje, šiaudų derlių reiktų nuimti mažiausiai nuo 34 ha dirbamosios žemės ploto.

Gamybos metu energijos nuotoliai sumažėtų iki 86,07 MWh t. y. net 153,33 MWh šiluminės energijos būtų sutaupoma, palyginus su esamu kiekiu gamtinių dujų katile.

Įvertinama, kiek šiaudų granulių katilas sunaudoja savoms reikmėms: $17 \text{ kWh/MWh} \times 774,6 \text{ MWh} = 13168,2 \text{ kWh}$. Įmonės duomenimis gamtinių dujų katilo energijos sąnaudos lygios 18,5 MWh/m.

Aplinkosauginis įvertinimas

Toliau pateikiami šiaudų granulėmis kūrenamo katilo poveikio aplinkos orui ir susidariusių atliekų kiekiui skaičiavimai.

Elektros energijos netiesioginis poveikis aplinkos orui (ŠESD) deginant kurą apskaičiuojamas pagal 5 formulę:

Elektros energiją naudojant esamame gamtines dujas deginamame katile: $\text{CO}_2 = 18,5 \text{ MWh} \cdot 0,2762 \text{ t CO}_2/\text{MWh} = 5,1097 \text{ t CO}_2/\text{m}$.

Elektros energiją naudojant šiaudų granulių katile:

$\text{CO}_2 = 13,168 \text{ MWh} \cdot 0,2762 \text{ t CO}_2/\text{MWh} = 3,637 \text{ t CO}_2/\text{m}$.

Išlakos į aplinkos orą iš KDI, deginant šiaudų granules, įvertintos pagal 2–4 formules ir emisijos faktorius:

$C_{\text{co}} = 1 \cdot 1 \cdot 16,19 = 16,19 \text{ kg/t}$;

$M_{\text{co}} = 0,001 \cdot 16,19 \cdot 191,38 \cdot (1-2/100) = 3,04 \text{ t/m.}$;

$M_{\text{No}_2} = 0,001 \cdot 191,38 \cdot 16,19 \cdot 0,17 \cdot (1-0) = 0,527 \text{ t/m.}$;

$M_{\text{k,d}} = 191,38 \cdot 4 \cdot 0,0035 \cdot (1-0,95) = 0,134 \text{ t/m.}$;

$M_{\text{SO}_2} = 11 \cdot 3098,4 = 0,034 \text{ t/m}$.

Išlakos į aplinkos orą iš KDI, deginant gamtines dujas, įvertintos pagal 2–4 formules ir emisijos faktorius:

$C_{\text{co}} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 37,71 = 9,4275 \text{ kg/tūkst. mm}^3$

$$M_{CO} = 0,001 \cdot 9,4275 \cdot 127,31 \cdot (1-0,5/100) = 1,19 \text{ t/m.};$$

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 127,31 \cdot 37,71 \cdot 0,16 \cdot (1-0) = 0,77 \text{ t/m.};$$

$$M_{k.d.} = 1,2 \cdot 4800,8 = 0,0058 \text{ t/m.};$$

$$M_{SO_2} = 0,3 \cdot 4800,8 = 0,00144 \text{ t/m.}$$

Šiltnamio efektą sukeliančių CO₂ dujų išlakos, deginant 127,31 tūkst. nm³ gamtinių dujų apskaičiuojamas pagal 5 formulę:

$$127,31 \text{ tūkst. nm}^3 \times 37,71 \text{ GJ/tūkst. nm}^3 \times 56,9 \text{ tCO}_2/\text{TJ} / 1000 = 273,17 \text{ t/m.}$$

Po gamtinių dujų katilo pakeitimo į šiaudų katilą buvo nustatyti šie teigiami aplinkosauginiai aspektai:

- Dėl padidėjusio katilo n. k. kuro sąnaudos sumažėtų 26,12 % (28,24 tne).
- ŠESD (CO₂) emisijos deginant šiaudų kurą sumažėtų 98,69 %.
- Elektros sąnaudos šiluminės energijos gamyboje sumažėtų 38,82 %.

Po gamtinių dujų katilo pakeitimo į šiaudų katilą buvo nustatyti šie neigiami aplinkosauginiai aspektai:

- Išlakų kiekis (KD, CO, NO₂, SO₂) į aplinkos orą padidėtų 7 %.

Ekonominis įvertinimas

Pakeitus gamtinių dujų katilą į šiaudų granulių katilą įmonė galėtų sutaupyti apie 44, tūkst. Eur per metus. Investicijos į siūlomo šiaudų katilo įdiegimą įmonei atsipirktų per 2,4 metų. Numatomos preliminarios siūlomo projekto įgyvendinamumo investicijos pateiktos 3.3.3 lentelėje

3.3.3 lentelė. Šiaudų katilo ir papildomų priedų preliminarios kainos

Nr.		Vnt.	Preliminari kaina, Eur (su PVM)
1	Projektavimo darbai	1	8000
2	Techninio projekto aplinkosaugos dalis	1	
3	Seno katilo demontavimo darbai	1	1300
4	Granulėmis kūrenamas VŠK (galingumas – iki 0,5 MW) su kuro padavimo šneku, su recirkuliacijos žiedu, kt. (Heizomat RHK 504).	1	85000 (Heizomat pasiūlymas, n. k. – 90 proc.)
5	Šiaudų granulių bunkeris su transporto sistema granulių tiekimui į tarpinę katilų talpą. Sistemą sudaro: granulių bunkeris, orapūtė granulių transportavimui, kt.	1	
6	Plieninis apšiltintas kaminas	1	2000
7	Elektrotechnika – automatika + montavimas	1	7500
8	PAV procedūros	1	1000
9	Paraiška taršos leidimui gauti	1	1000
Pradinės investicijos:			105800

3.3.4 lentelė. Gamtinio dujų katilo pakeitimo į šiaudų granuliuotą katilą aplinkosauginis ir ekonominis įvertinimas

Rodikliai	Iki modernizavimo (2016 m.)			Po modernizavimo			Sutaupoma (sumažėja)		
	matavimo vnt./m.	Eur/vnt.	Eur/m.	matavimo vnt./m.	Eur/vnt.	Eur/m.	matavimo vnt./m.	Eur/vnt.	Eur/m.
Šiluminės energijos gamyba	VŠK- 0,1,86 MW; n.k – 76 proc. 1014 MWh/m.			VŠK – 0,5- MW (n.k. – iki 92 proc.) 860,07 MWh/m.			153,93 MWh/m.		
Kuro sąnaudos, tne	108,11			79,87			13,25		
Gamtinių dujų sąnaudos, nm ³	127,31	0,4834	61541,65	-	-	-	127,31	0,4834	61541,65
Šiaudų granuliuotų sąnaudos, t	-	-	-	191,38	90	17224,2	-191,38	-90	-17224,2
ŠESD (CO ₂) emisijos, t	278,2797	-	-	3,637	-	-	274,6427	-	-
Išlakos į aplinkos orą, t	<u>1,977:</u>		<u>158,14:</u>	<u>3,738:</u>		<u>127,16:</u>	-1,761:		<u>30,98:</u>
kietosios dalelės (A)	0,0058	61*	0,35	0,134	61	8,17	-0,1282	61	-7,82
anglies monoksidas (A)	1,19	4*	4,76	3,04	4	12,16	-1,85	4	-7,4
azoto oksidai (A)	0,78	196*	152,88	0,527	196	103,29	0,253	196	49,59
sieros dioksidas(A)	0,00144	104*	0,15	0,034	104	3,54	-0,0325	104	-3,39
Elektros sąnaudos šiluminės energijos gamyboje, kWh	18500	0,018**	333	13168,2	0,018	237,03	5331,2	0,018	95,97
Vandens sąnaudos, m ³	21	1,55 ***	32,55	21	1,55	32,55	-	-	-
Šlamo utilizavimas (perdavimas atliekų tvarkytojams)	-	-	-	Susidarę pelenai gali būti nemokamai perduoti ūkininkams			-	-	-
								Σ	44,4 tūkst. Eur/m.

* Aplinkos ministerija. Mokesčio už aplinkos teršimą iš stacionarių taršos šaltinių tarifai nuo 2015 m. sausio 1 d.

** AB „ESO“ Tarifų planai ir kainos 2016. Vienos laiko zonos tarifų planų kainos. Verslui.

*** UAB „Aukštaitijos vandenys“ Geriamojo vandens tiekimo ir nuotekų tvarkymo paslaugų bazinė kaina. Įmonėms.

Aplinkosaugos veiksmingumo įvertinimas

Nustačius santykinis AAI, buvo atlikta AAV analizė. Jos rezultatai parodė aplinkosaugos veiksmingumo padidėjimą poveikio klimato kaitos srityje. Nustačius santykinis aplinkosauginius indikatorius ir atlikus siūlomo UAB „Pakruojo šiluma“ gamtinių dujų katilo pakeitimo į šiaudų ritinių naudojimo bendrą aplinkosaugos veiksmingumo įvertinimą nustatyta, kad įmonės aplinkosauginė situacija pagerėtų.

3.3.5 lentelė. UAB „Pakruojo šiluma“ Gamtinių dujų katilo pakeitimo į šiaudų katilą aplinkosauginio įvertinimo rezultatai

Eil. Nr.	Įvedinių ir išvedinių srautai	Esama situacija		Įdiegus alternatyvą		Sutaupoma, sumažėja	
		Vnt./m.	AAI iki Vnt./tne	Vnt./m.	AAI po Vnt./tne	Vnt./m	AAV = AAI iki - AAI po, Vnt./tne
1.1	Gamtinės dujos	127310 nm ³	1459,98 nm ³	0 nm ³	0 nm ³	127310 nm ³	1459,98 nm ³
1.2	Šiaudai	0 t	0 t	191,38 t	2,59 t	-191,38 t	-2,59 t
1.3	Elektros energija	18500 kWh	212,16 kWh	13168,2 kWh	178,07 kWh	5331,8 kWh	34,09 kWh
1.4	ŠESD (CO ₂) emisijos (dėl el. sąnaudų/degimo metu)	278,2797 t	3,19 t	3,637 t	0,049 t	274,6427 t	3,141 t
1.5	Emisijos (KD, CO, NO ₂ , SO ₂)	1,977 t:	0,023 t	3,738 t:	0,051	-1,761t	-0,028
1.6	Vanduo	21 m ³	4,15 m ³	21 m ³	3,52 m ³	0 m ³	0,63 m ³

IŠVADOS

1. Atlikus naujausių mokslinių tyrimų analizę nustatyta, kad 2011 metais šiaudų kuro potencialo Lietuvoje išnaudota tik 1,1 %. Per paskutinius metus (2008–2012 m.) vidutiniškai susidarė apie 3,07 mln. tonų šiaudų. 2012 metais šiaudų kiekis buvo didžiausias ir siekė virš 4 mln. t. Didžiausias prognozuojamas šiaudų potencialas yra Panevėžio, Šiaulių, Marijampolės bei Kauno apskrityse. Įvertinta, kad trečdalį susidariusių šiaudų būtų galima panaudoti energetinėms reikmėms, t. y. apie 1,32 mln. t. Sudeginus šį kurą būtų gaunama virš 440 ktnė atsinaujinančios energijos.

2. Palyginus šiaudų kurą su iškastiniu kuru, sieros kiekiai yra pastebimai mažesni. Poveikio vertinimo metu nustatyta, kad šiaudai palyginus su anglies kuru ar gamtinėmis dujomis sudaro mažiau ŠESD. Remiantis Statistikos departamento duomenimis, 2014 m. iš žemės ūkio atliekų buvo pagaminta 11,9 tne kietojo kuro (0,76 % nuo Lietuvoje gaminamo kietojo kuro). Panaudojus visą šiaudų potencialą, būtų galima būtų pagaminti iki 42,63 % Lietuvoje gaminamos energijos arba iki 62 % šilumos energijos, kuri gaminama ir centralizuotai teikiama į tinklus.

3. Tyrimo metu nustatyta, kad granuliuoti šiaudus, surinktus 50 km spinduliu nuo katilinės nėra efektyvu. Energijos kiekis, reikalingas pagaminti 100 MWh šiluminės energijos deginant šiaudų granules (įsk. šiaudų ritinių surinkimą, smulkinimą, granuliuojimą, transportavimą) beveik 41 % viršija energijos kiekį deginant šiaudų ritinius ir naudojant specialią pakurą. Įvertinta, kad 50 km atstumas gali būti padidintas net iki 300 km. Energijos regeneravimo koeficientas 1-os alternatyvos atveju – 0,9464, 2-os alternatyvas atveju – 0,9682. Šiaudų kuras, pagal energijos regeneravimo koeficientą prilygsta pjuvenų biokurui.

4. Išanalizavus ŠG inovaciją (ūkininko lygmenyje), kurioje siūloma esamą iškastiniu kuru kūrenamą katilą pakeisti veikloje susidariusių atliekų – šiaudų ryšuliais kūrenamu katilu, nustatyta, kad įdiegus šį pasiūlymą padidėtų būtų pasiektas aplinkosauginis efektas, bei ūkininkas gautų ekonominę naudą:

- Pakeitus gamtinių dujų katilą į šiaudų katilą, poveikis aplinkos orui sumažėtų 97,88 %. Elektros sąnaudos šiluminės energijos gamyboje sumažėtų 27,27 %. Šiuo atveju investicijos atsipirktų iki 2 metų.
- Pakeitus akmens anglies katilą į šiaudų katilą, kuro sąnaudos sumažėtų 7,94 %. Poveikis aplinkos orui sumažėtų 98,9 %, pelenų kiekis sumažėtų 41,5 %. Įvertinta, kad projekto investicijos ūkininkui atsipirktų per 4,6 metų.
- Pakeitus dyzelinio kuro katilą į šiaudų katilą, poveikis aplinkos orui sumažėtų 98,28 %. Elektros sąnaudos šiluminės energijos gamyboje sumažėtų 42,86 %. Projekto investicijos atsipirktų per 1,6 metus.

Rekonstruojant UAB „Pakruojo šiluma“ Dvaro katilinę ir dalinai pereinant nuo gamtinių dujų prie vietinio AEI – šiaudų granuliuojimo, kuro sąnaudos sumažėtų 15,2 % (13,25 tne). Poveikis aplinkos orui sumažėtų 97,94 %. Elektros sąnaudos šiluminės energijos gamyboje sumažėtų 38,82 %. Šios ŠG bei pramoninės simbiozės inovacijos investicijos atsipirktų iki 2,4 metų.

5. Analizuojant siūlomų ŠG inovacijų aplinkosaugos veiksmingumą nustatyta, kad šiaudų energetinio potencialo naudojimas šilumos energijos gamybai Lietuvoje – aplinkosauginiu ir ekonominiu požiūriu efektyvus. Aplinkosaugos veiksmingumas padidėja atliekų tvarkymo srityje. ŠESD emisijos šilumos energijos gamybos vienetui sumažėja nuo 2,6 iki 5,4 t/tne. Didėjant vietinio atsinaujinančio kuro naudojimui, mažėtų priklausomybė nuo importuojamo kuro.

LITERATŪROS SARAŠAS

Mokslinė literatūra:

ABDELHADY, Suzan. BORELLO, Domenico. SHABAN, Ahmed. RISPOLI, Franco. Viability Study of Biomass Power Plant Fired with Rice Straw in Egypt. *Energy Procedia*, 2014, 61, 211–215. Prieiga per: doi: 10.1016/j.egypro.2014.11.1072

ALBINO, Vito. FRACCASCIA, Luca. Industrial Symbiosis for a Sustainable City: Technical, Economical and Organizational Issues. *Procedia Engineering*. 2015, 118, 950–957. Prieiga per: doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.536

ARLAUSKIENĖ, A. MAIKŠTĖNIENĖ, S. ŠLEPETIENĖ, A. Tarpinių pasėlių ir šiaudų įtaka vasarinių miežių mitybai azotu bei dirvožemio humuso sudėčiai. *Žemdirbystė*, 2009, 96, 53–70. [žiūrėta 2016-04-07]. ISSN 1392-3196. Prieiga per: lammczi

BIRICIK, Hasan. AKÖZ, Fevziye. BERKTAY, I.lhan. TULGAR, Ali N. Study of pozzolanic properties of wheat straw ash. *Cement and Concrete Research*, 1999, 29,(5), 637–643 . Prieiga per: doi: 10.1016/S0008-8846(98)00249-X

CHARKOVAS. Teršalų, išmetamų į atmosferą iš pagrindinių technologinių mašinų gamybos įrenginių, normatyviniai rodikliai. 1997 (Tomas I). 1 paragrafas „Kuro deginimas“.

CLARE, Abbie. SHACKLEY, Simon. JOSEPH, Stephen. HAMMOND, James. PAN, Genxing. BLOOM, Anthony. Competing uses for China's straw: the economic and carbon abatement potential of biochar. *GCB bioenergy*. 2015, 7 (6). 1272–1282. Prieiga per: doi: 10.1111/gcbb.12220

DENAFAS, G. REVOLDAS, V. Degimo procesų ekologiškumo ir emisijų apskaičiavimų metodikos patikimumo tyrimai augaline biomase kūrenamuose katiluose ir krosnyse. *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba*. 2002. Nr.1(19), 43–51. ISSN 1392–1649

DONG, Liang. Fujita, ZHANG, Tsuyoshi. Hui. DAI, Ming. FUJII, Minoru. OHNOSHI, Satoshi. GENG, Yong. LIU, Zhu. Promoting low-carbon city through industrial symbiosis: A case in China by applying HPIMO model. *Energy Policy*, 2013, 61, 864–873. Prieiga per: doi: 10.1016/j.enpol.2013.06.084

FELICIO, Miriã. AMARAL, Daniel. ESPOSTO, Kleber. GABARRELL DURANY, Xavier. Industrial symbiosis indicators to manage eco-industrial parks as dynamic systems. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 118, 54–64. Prieiga per: doi: 10.1016/j.jclepro.2016.01.031

GENUTIS, A. NAVICKAS, K. STEPANAS, A. *Kietojo biokuro ir biodujų inžinerija. Mokomoji knyga*. Klaipėda: UAB „IDP Solutions“. 2008. ISBN 9789955865155

GENUTIS, A. Šiaudų kuro išteklių, naudojimas ir prognozė. *Šiluminė technika: Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija*. 2005, 2(24), 1–24. ISSN 1392-4346

GENUTIS, A. Šiaudų kuro vartojimas. Seminaro „Biomasė energijai gaminti“ medžiaga. *Lietuvos žemės ūkio universitetas, Žemės ūkio institutas*. 2006, Kaunas. [Žiūrėta 2016-04-15]. Prieiga per internetą: <http://balticbiomass.com>

GIUNTOLI, Jacopo. BOULAMANTI, Aikaterini K. CORRADO, Sara . MOTEGH, Mahsa. AGOSTINI, Alessandro. BAXTER, David. Environmental impacts of future bioenergy pathways: the case of electricity from wheat straw bales and pellets. *GCB bioenergy*. 2012, 5(5), 497–512. Prieiga per: doi: 10.1111/gcbb.12012

HERBERT, G.M. Joselin, KRISHNAN, A. Unni. Quantifying environmental performance of biomass energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016, 59, 292–308. Prieiga per: doi: 10.1016/j.rser.2015.12.254

HUSAIN, Muhammad Nawazish. AGGARWAL, Praveen. Studying and Comparing the Effects of Straw Ash and Crusher Sand on UCS of Silty Soil. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2015, 4 (8), 7501–7509. Prieiga per: doi: 10.15680/IJIRSET.2015.0408075

KARGBO, Foday Robert. XING, Junjun. ZHANG, Yanlin. Pretreatment for energy use of rice straw: A review. *Agricultural Research*. 2009, 4 (12) [žiūrėta 2016-04-17]. ISSN 1991-637X. Prieiga per: academic journals.

KENNEDY, Bruce A. *Surface mining*. 2nd edition. Baltimore, Maryland: Port City Press, 1990. ISBN 0-87335-102-9

KLIOPOVA, I. *Procesų valdymas švaresnėje gamyboje: analizė, metodika ir diegimas. Daktaro disertacija*. Vadovas – Prof. Habil. dr. J.K. Staniškis. 2002.

KLIOPOVA, I., BARANAUSKAITĖ-FEDOROVA, I., MALINAUSKIENĖ, M., STANIŠKIS, J.K. Possibilities of increasing resource efficiency in nitrogen fertilizer production. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2016, 18(3), 901–914. Prieiga per: doi: 10.1007/s10098-015-1068-9

KLIOPOVA, I., MAKARSKIENĖ, K. Improving material and energy recovery from the sewage sludge and biomass residues. *Waste Management*. 2014, 36, 269–276. Prieiga per: doi: 10.1016/j.wasman.2014.10.030

KLIOPOVA, I., MAKARSKIENĖ, K.. Generation of Solid Recovered Fuel from the Separate Fraction of Pre-composted Materials (Sewage Sludge and Biomass Residues). *Environmental research, engineering and management*. 2013, 2(64), 5–18. Prieiga per: doi: 10.5755/j01.arem.64.2.4142

KURO IR ENERGIJOS BALANSAS, Lietuvos statistikos departamentas. Vilnius. 2015. ISSN 2029-5944

LV, Hao. DING, Hao. ZHOU, Dequn. ZHOU, Peng. A Site Selection Model for a Straw-Based Power Generation Plant with CO2 Emissions. *Sustainability*. 2014, 6, 7466–7481. Prieiga per: doi: 10.3390/su6107466

MATULIONYTĖ-JARAŠŪNĖ, Erika. Atsinaujinančių energijos išteklių vystymas energetinio saugumo kontekste. *Darnaus vystymosi strategija ir praktika*. 2012, 1(6), 123–132. ISSN 2029-1558. Prieiga per: Lituanistika

MORISSETTE, René. SAVOIE, Philippe. VILLENEUVE, Joey. Corn Stover and Wheat Straw Combustion in a 176-kW Boiler. Adapted for Round Bales, 2013, 6, 5760–5774. Prieiga per: doi: 10.3390/en6115760

NOLAN, Anthony. MC DONNELL, Kevin Mc. DEVLIN, Ger J. CARROLL, John P. FINNAN, John. Economic Analysis of Manufacturing Costs of Pellet Production in the Republic of Ireland Using Non-Woody Biomass, *The Open Renewable Energy Journal*, 2010, 3, 1–11. Prieiga per: doi: 10.2174/1876387101003010001

OWCZUK, Marlena. KOŁODZIEJCZYK, Krzysztof. Assessment of the possibility of using straw and pomace of *Camelina sativa* as an alternative energy source. *Chemik. Automotive Industry Institute*. Warsaw. 2011, 65 (6) 537–542. ISSN: 2450-7105.

PIEKARCZYK, Mariusz. KOTWICA, Karol, JASKULSKI, Dariusz. The elemental composition of ash from straw and hay in the context of their agricultural utilization. *Agricultura*, 2011, 10 (2), 97–104. Prieiga per: doi: PB 0835/B/P01/2009/36

SAID, Noha. ABDEL DAIEM, Mahmoud M. GARCÍA-MARAVÉ, Angela. ZAMORANO, Montserrat. Influence of densification parameters on quality properties of rice straw pellets. *Fuel Processing Technology*. 2015, 138, 56–64. Prieiga per: doi: 10.1016/j.fuproc.2015.05.011

SAKALAUSKAS Antanas. JASINKAS, Algirdas. ŠARAUSKIS, Egidijus. VAICIUKEVIČIUS, Edvardas, KALINAUSKAITĖ, Solveiga. SIMONAITIS, Petras. *Žemės ūkio, maisto ūkio ir žuvininkystės MTTV projekto „Augalinės biomasės (šiaudy, žolių, sumedėjusių augalų ir kt.) nuėmimo ir paruošimo biokurui dispergavimo būdu technologijos pagrindimas“ Baigiamoji ataskaita*. Akademija, Kauno r. 2012. Prieiga per: <https://zum.lrv.lt>

SCHOLZ, Volkhard. LIUBARSKIJ, Vladimir. DRAVININKAS, Almutas. Energy rate analysis of biofuel production and consumption from biomass. *LŽŪU ŽŪI Instituto ir LŽŪ Universiteto mokslo darbai*. 2006, 38 (3), 72–79 [žiūrėta 2016-04-08]. ISSN 1392-1134. Prieiga per: vddb.library

STANIŠKIS, J.K. KLIPOVA, I. STASIŠKIENĖ, Ž. VARZINSKAS, V. *Darnios inovacijos Lietuvos pramonėje: kūrimas ir diegimas. Mokslo monografija*. Kaunas: Technologija. 2010. ISBN 978-9955-25-815-5

STELTE, Wolfgang. CLEMONS, Craig. HOLM, Jens K. AHRENFELDT, Jesper. HENRIKSEN, Ulrik B. SANADI, Anand R. Fuel Pellets from Wheat Straw: The Effect of Lignin Glass Transition and Surface Waxes on Pelletizing Properties. *BioEnergy Research*, 2012, 5(2), 450–458. Prieiga per: doi: 10.1007/s12155-011-9169-8

TYLA, J. 2008. Biokuro rinkos dalyvių interesų suderinamumo modelis. Magistrantūros baigiamasis darbas. Lietuvos žemės ūkio universitetas. Vadovas prof. habil. dr. J. Ramanauskas.

VARES, V. KASK, U. MUIST, P. PIHU, T. SOOSAAR, S. *Biokuro naudotojo žinynas*. Vilnius: Žara, 2007. ISBN 978-9986-34-180-2

VERBICKAS, Darius. JUKNYS, Romualdas. KLEIŠMANTAS, Arūnas. Kietojo biokuro naudojimas Lietuvos šilumos gamybos sektoriuje, tolesnės perspektyvos ir poveikis aplinkai. *Energetika*. 2013, 59 (3), 144–152. Prieiga per: doi: 10.6001/energetika.v59i3.2706

VRUBLIAUSKAS, Stanislovas. PEREDNIS, Eugenijus. Biomasės ir iškastinio kuro mišinių deginimas. *Šiluminė technika: Lietuvos šilumos tiekėjų asociacija*, 2012, 1(50), 1–24. ISSN 1392-4346

WEN, Wen. ZHANG, Qin. A design of straw acquisition mode for China's straw power plant based on supply chain coordination. *Renewable Energy*, 2015, 76, 369–374. Prieiga per: doi: 10.1016/j.renene.2014.11.062

XIANYANG, Zeng. YITAI, Ma, LIRONG, Ma. Utilization of straw in biomass energy in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 11 (5), 976–987. Prieiga per: doi: 10.1016/j.rser.2005.10.003

XINGANG, Zhao. ZHONGFU, Tan. PINGKUO Liu. Development goal of 30 GW for China's biomass power generation: Will it be achieved? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 25, 310–317. Prieiga per: doi: 10.1016/j.rser.2013.04.008

ZHANG, Lili. JIS, Yangyang. ZHANG, Xiaomei. FENG, Xihong. WU, Jinjuan. WANG, Lushan. CHEN, Guanjun. Wheat straw: An inefficient substrate for rapid natural lignocellulosic composting. *Bioresource Technology*, 2016, 209, 402–406. Prieiga per: doi: 10.1016/j.biortech.2016.03.004

ZHE, Liu. YONG, Geng. HUNG-SUCK, Park. HUIJUAN, Dong. LIANG Dong. TSUYOSHI, Fujita. An emery-based hybrid method for assessing industrial symbiosis of an industrial park. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 114, 15, 132–140. Prieiga per: doi: 10.1016/j.jclepro.2015.04.132

ŽALTAUSKAS, Algirdas. *Šiaudai – pigus vietinis kuras. Efektyvus atsinaujinančiųjų energijos išteklių naudojimas: šalyje įgyvendinti projektai*. Kaunas: Arc Baltica, 2008a. ISBN 978-9955-39-011-4

ŽALTAUSKAS, Algirdas. *Šiaudais kūrenami katilai ir šildymo blokai Efektyvus atsinaujinančiųjų energijos išteklių naudojimas: šalyje įgyvendinti projektai*. Kaunas: Arc Baltica, 2008b. ISBN 978-9955-39-011-4

ŽALTAUSKAS, Algirdas. *Šiaudų panaudojimas kurui Lietuvoje*. Vilnius: VĮ "Energetikos agentūra". 2002, 42.

Teisės aktai:

LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖ. *Nutarimas dėl nacionalinės atsinaujinančiųjų energijos išteklių plėtros strategijos patvirtinimo: 2010 m. birželio 21 d. Nr. 789* [interaktyvus] [žiūrėta 2016-03-12]. Prieiga per: http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=376097

LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Dėl išmetamų teršalų iš kurų deginančiųjų įrenginių normų LAND 43-2013 patvirtinimo: Lietuvos respublikos aplinkos ministro Į s a k y m a s. 2013 m. balandžio 10 d. Nr. D1-244*. [interaktyvus] [žiūrėta 2016-03-14]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.A616A3C01CAD>

LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Nutarimas dėl nacionalinės energetikos strategijos patvirtinimo: 2007 m. sausio 18 d. Nr. X-1046*. [interaktyvus] [žiūrėta 2016-03-01]. Prieiga per: http://www3.lrs.lt/pls/inter3/dokpaieska.showdoc_l?p_id=291371

EUROPOS PARLAMENTO IR TARYBOS DIREKTYVA 2009/28/EB. *Dėl skatinimo naudoti atsinaujinančiųjų išteklių energiją, iš dalies keičianti bei vėliau panaikinanti Direktyvas 2001/77/EB ir 2003/30/EB. 2009 m. balandžio 23 d.* [interaktyvus] [žiūrėta 2016-03-12]. Prieiga per: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=CELEX%3A02009L0028-20130701>

LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖ. *Nutarimas dėl nacionalinės šilumos ūkio plėtros 2015–2021 metų programos patvirtinimo. 2015 m. kovo 18 d. Nr. 284*. [interaktyvus] [žiūrėta 2016-04-02]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/a1484c20d3c711e4bcd1a882e9a189f1>

LIETUVOS RESPUBLIKOS ŪKIO MINISTERIJA. *Dėl 2014-2020 metų Europos sąjungos fondų investicijų veiksmų programos 3 prioriteto „smulkiojo ir vidutinio verslo konkurencingumo skatinimas“. Nr. 03.3.2 –LVPA-K-837 „Eco-inovacijos LT+“ projektų finansavimo sąlygų aprašas Nr.1. 2016. Vasario 19 d. Nr. 4*. [interaktyvus] [žiūrėta 2016-03-28]. Prieiga per: [http://www.esinvesticijos.lt/lt/dokumentai/2014-2020-metu-europos-sajungos-fondu-investiciju-veiksmu-programos-3-prioriteto-smulkiojo-ir-vidutinio-verslo-](http://www.esinvesticijos.lt/lt/dokumentai/2014-2020-metu-europos-sajungos-fondu-investiciju-veiksmu-programos-3-prioriteto-smulkiojo-ir-vidutinio-verslo)

konkurencingumo-skatinimas-priemonės-nr-03-3-1-lvpa-k-841-dpt-pramonei-lt-projektu-finansavimo-salygu-apraso-nr-1-projektas

LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTRO ĮSAKYMAS. *Dėl klimato kaitos specialiosios programos lėšų naudojimo tvarkos aprašo patvirtinimo. 2010 m. balandžio 6 d. Nr. D1-275.* [interaktyvus] [žiūrėta 2016-03-15]. Prieiga per: <https://www.etar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.A2E8B0079BC9>

STATISTIKOS DEPARTAMENTO PRIE LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖS GENERALINIO DIREKTORIAUS ĮSAKYMAS. *Dėl kuro ir energijos balanso sudarymo metodikos patvirtinimo apkeitimo 2008 m. liepos 31 d. Nr. DĮ-154.* [interaktyvus] [žiūrėta 2016-03-16]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.55F2081A61B9>

Internetinės nuorodos ir kiti informacijos šaltiniai:

AB „ESO“. [interaktyvus] 2016. [žiūrėta 2016-05-02]. Prieiga per internetą: <http://www.eso.lt/lt/namams/elektra/esu-klentas/tarifai-kainos-atsiskaitymas-ir-skolos/kiok-kainuoja-elektra-2016/koki-tarifo-plana-galiu-pasirinkti.html>

APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. *Taršos integruota prevencija ir kontrolė* [interaktyvus]. 2015. [žiūrėta 2016-03-30]. Prieiga per internetą: <http://gamta.lt/cms/index?rubricId=266d9067-c315-4045-a548-0150f9e9196a>

BIEKŠA, B. JANULIS, M. PANKIS, V. JARAMINIENĖ, E. *Studijos šiaudų kuro naudojimo technologijų įvertinimas ir rekomendacijų tolimesniam jų naudojimui bei biokuro briketų iš smulkių šiaudų ir žolinių augalų paruošimo technologijos parengimas –Ataskaita.* 2007. [žiūrėta 2016-03-20]. Prieiga per http://www.ena.lt/Ataskaitos/Siaudu_kuras.pdf

BIOKAITRA. *Granuliniai katilai.* 2013 [žiūrėta 2016-02-20]. Prieiga per: <http://biokaitra.lt/granuliniai-katilai/>

BIOMASS PLANT GENERATES ELECTRICITY AND OPPORTUNITY FOR UK COMMUNITY. *Renewable energy world magazine.* [interaktyvus]. 2015. [žiūrėta 2016-03-21]. Prieiga per internetą: <http://www.renewableenergyworld.com/articles/print/volume-18/issue-3/features/bioenergy/biomass-plant-generates-electricity-and-opportunity-for-uk-community.html>

DZENAJAVIČIENĖ, Eugenija Farida. *PEDIŠIUS, Nerijus. ŠKĖMA, Romualdas. Darni energetika.* [interaktyvus]. 2011. [žiūrėta 2016-03-26]. Prieiga per internetą: http://www.lei.lt/_img/_up/File/atvir/bioenerlt/index_files/Darni_bioenergetika-S.pdf

EMEP/EEA AIR EMISSION INVENTORY GUIDEBOOK. [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2016-03-24]. Prieiga per internetą: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>

ENERSTENA. [interaktyvus] 2016 [žiūrėta 2016-05-02]. Prieiga per internetą: <http://www.enerstena.lt/>

EUROSTAT. *Renewable energy in the EU.* [interaktyvus]. 2015. [žiūrėta 2016-03-20]. Prieiga per: <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/6734513/8-10032015-AP-EN.pdf/3a8c018d-3d9f-4f1d-95ad-832ed3a20a6b>

FYNSVÆRKET 8 STRAW FIRED POWER STATION. [interaktyvus]. 2014. [žiūrėta 2016-03-23]. Prieiga per internetą: <http://www.cowi.com/menu/service/IndustryandEnergy/Energy/thermal->

power/energyfrombiomass/Documents/Fynsv%C3%A6rket%20FYV8%20Energy%20from%20Biomass%20C3%20HP%202015%20UK.pdf

GALINIS, A. *Atsinaujinančių energijos išteklių panaudojimo energetikos sektoriuje kompleksinis vertinimas. LEI pteanešimas*. [interaktyvus]. 2009. [žiūrėta 2016-03-12]. Prieiga per internetą: http://www.lei.lt/img/up/File/atvir/bioenerlt/index_files/A_Galinio_pranesimas.pdf

GOVERNMENT STATISTICAL SERVICE. *Area of Crops Grown For Bioenergy in England and the UK: 2008–2013. 2014* [žiūrėta 2016-03-15]. Prieiga per internetą: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/434098/nonfood-statsnotice2012-10jun15.pdf

HEIZOMAT. [interaktyvus]. 2016. [žiūrėta 2016-05-02]. Prieiga per internetą: <http://heizomat.co.uk/products/rhk-series/heizomat-rhk-504>

KURO KAINOS. [interaktyvus]. 2016. [žiūrėta 2016-05-02]. Prieiga per internetą: <http://www.degalukainos.lt/>

LARGE COMBUSTION PLANTS. [interaktyvus]. 2006. [žiūrėta 2016-02-27]. Prieiga per internetą: <http://193.219.133.6/aaa/Tipk/tipk200702/dideli%20kura%20deginantys%20irenginiai%20%28en%29.pdf>

LITBIOMA. *Lietuvos biomasės energetikos asociacija*. 2015 [žiūrėta 2016-03-20]. Prieiga per internetą: <http://www.biokuras.lt/enerstena-pirmoji-lietuvoje-pagamino-pramonini-garo-katila-kurenama-siaudu-granulemis>

LUKOŠEVIČIUS, V. *Lietuvos vietiniai energijos ištekliai - nacionalinės ekonomikos ir energetinio saugumo stiprinimui?* [interaktyvus]. 2014. [žiūrėta 2016-03-11]. Prieiga per internetą: <http://www.leka.lt/straipsniai/v-lukosevicius-lietuvos-vietiniai-energijos-istekliai-nacionalines-ekonomikos-ir>

MAŽEIKA, Romas. STAUGAITIS, Gediminas. ANTANAITIS, Antanas. ANTANAITIS, Šarūnas. *Augalinės kilmės atliekų panaudojimo tręšimui, jų normų nustatymo, kitų augalinių trąšų žemės ūkyje naudojimo būdų tyrimai, analizė ir įvertinimas. Ataskaita*. [interaktyvus]. 2011. [žiūrėta 2016-03-20]. Prieiga per internetą: https://zum.lrv.lt/uploads/zum/documents/files/LT_versija/Veiklos_sritys/Mokslas_mokymas_ir_konsultavimas/Moksliniu_tyrimu_ir_taikomosios_veiklos_darbu_galutines_ataskaitos/9darbasAugalineskilmesatliekuataskaita_2011.pdf

NAGEVIČIUS, M. *Biokuro potencialo Lietuvoje įvertinimas, biokuro kainų prognozė, biokuro panaudojimo socialinės naudos įvertinimas ir biokuro panaudojimo plėtrai reikalingų valstybės intervencijų pasiūlymai*. [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2016-03-10]. Prieiga per internetą: http://www.lsta.lt/files/studijos/2013%20met%C5%B3/A-80_biokuras%20-%20galutine%20ataskaita3.pdf

NIKOLAISEN, Lars. *Country report 2011 for Denmark. IEA Bioenergy task 40*. 2012 [žiūrėta 2016-03-20]. Prieiga per: <http://www.bioenergytrade.org/downloads/iea-task-40-country-report-2011-denmark.pdf>

NL AGENCY. *Rice straw and Wheat straw. Potential feedstocks for the Biobased Economy* [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2016-03-26]. Prieiga per internetą: <http://english.rvo.nl/sites/default/files/2013/12/Straw%20report%20AgNL%20June%202013.pdf>

OFICIALIOS STATISTIKOS PORTALAS. *Energetikos statistika 2014 m.* [interaktyvus]. 2015. [žiūrėta 2016-04-02]. Prieiga per internetą: <https://osp.stat.gov.lt/informaciniai-pranesimai?eventId=62509>.

PLANT FACT SHEET. *Straw-fired combined heat and power plant Avedøreværket Avedøre, Denmark* [interaktyvus]. 2010. [žiūrėta 2016-03-26]. Prieiga per internetą: <http://www.volund.dk/~media/Downloads/Brochures - BIO/Avedoere - Denmark.pdf>

RADVILIŠKIO MAŠINŲ GAMYKLA. *Granulių gamybos įranga ŠSGL–I.* [interaktyvus]. 2016. [žiūrėta 2016-04-01]. Prieiga per internetą: <http://www.factory.lt/lt/produkcija/granuliu-gamybos-iranga/granuliu-gamybos-iranga-ssgl1>

STATISTA. *Energy consumption of energy from straw in the United Kingdom (UK) from 2000 to 2013 (In thousand tonnes of oil equivalent).* 2016 [žiūrėta 2016-03-20]. Prieiga per: <http://www.statista.com/statistics/503982/energy-consumption-of-energy-from-straw-uk/>

ŠIAUDŲ GRANULIŲ GAMYBOS TECHNOLOGIJOS. 2016. [žiūrėta 2016-02-22]. Prieiga per internetą: <http://balticpellet.lt/about-company/straw-pellets-technology/>

UAB „Aukštaitijos vandenys“ *Geriamojo vandens tiekimo ir nuotekų tvarkymo kainos* [interaktyvus] 2016. [žiūrėta 2016-05-02]. Prieiga per internetą: <http://www.avandenys.lt/lt/informacija/kainos/geriamojo-vandens-tiekimo-ir-nuoteku-tvarkymo-kainos/>

UAB „Lietuvos dujos tiekimas“. [interaktyvus] 2016. [žiūrėta 2016-05-02]. Prieiga per internetą: <http://www.ldtiekimas.lt/dujos-namams/duju-kainos/>

UAB „PAKRUOJO ŠILUMA“. *Sprendimas dėl uždarnosios akcinės bendrovės „Pakruojo šiluma“ direktoriaus 2014 m. veiklos ataskaitos patvirtinimo.* [interaktyvus]. 2015. [žiūrėta 2016-04-18]. Prieiga per internetą: <http://www.pakruojis.lt/files/taryba/projektai/2015/TS2015043033.pdf>

UK BIOMASS STRATEGY. *Department for Environment, Food and Rural Affairs.* 2007 [žiūrėta 2016-03-30]. Prieiga per: http://www.biomassenergycentre.org.uk/pls/portal/docs/PAGE/RESOURCES/REF_LIB_RES/PUBLICATIONS/UKBIOMASSSTRATEGY.PDF

UMEGA. *Pramoniniai šiaudais kūrenami katilai.* 2010. [žiūrėta 2016-02-20]. Prieiga per internetą: <http://www.umeqa.lt/index.php?cid=3855&pid=3405>

VALERO, A.USON, S. COSTA, J. *Exergy analysis of the industrial symbiosis model in Kalundborg. Paper presented at The 25th International Conference on Efficiency, Soct, Optimization, Simulation and Enivironmental Impact of Energy Systems, Perugia, Italy.* [interaktyvus]. 2015. [žiūrėta 2016-03-10]. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/268440220_Exergy_analysis_of_the_industrial_symbiosis_model_in_Kalundborg

VALSTYBINIO AUDITO ATASKAITA AT SINIAUJINANČIŲ ENERGIJOS IŠTEKLIŲ POTENCIALO NAUDOJIMAS LIETUVOJE. Nr. VA-P-20-2-1. [interaktyvus]. 2010. [žiūrėta 2016-03-20]. Prieiga per internetą: <https://www.vkontrole.lt/failas.aspx?id=2021>

PRIEDŲ SĄRAŠAS

PRIEDAS NR. 1 R/AKU/AKT šildymo blokai

PRIEDAS NR. 2 Šiaudų granulių katilas BIO 90

PRIEDAS NR. 3 a. šiaudų katilas BB254/2 b. katilo komponentai

PRIEDAS NR. 4 Granulių gamybos įranga ŠSGL-1

PRIEDAS NR. 1 R/AKU/AKT šildymo blokai



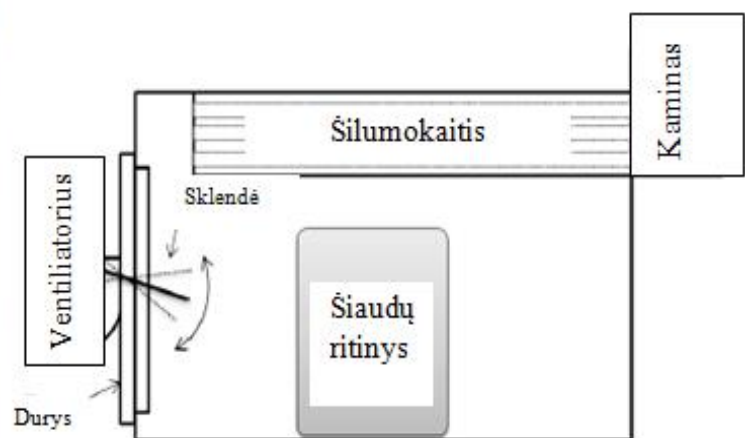
PRIEDAS NR. 2 Šiaudų granulių katilas BIO 90



PRIEDAS NR. 3 a. šiaudų katilas BB254/2 b. katilo komponentai



(a)



(b)

PRIEDAS NR. 4 Granulių gamybos įranga ŠSGL-1

Pagrindinės šiaudų smulkinimo ir granuliavimo linijos komplekto dalys:

- Transporteris
- Drąskytuvas
- Malūnas
- Dulkių surinkimo ir oro filtravimo įrenginys
- Granulių gamybos presas
- Pakavimo į didmaišius įranga
- Elektros valdymo pultai

