

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 m.

Ruošė: Darius Biekša, Energetikos mokslo magistras
Mindaugas Janulis, Pastatų energetikos bakalauras
Vidmantas Plankis, Diplomuotas inžinierius
Eglė Jaraminienė, Energetikos mokslo magistras
Tikrino: Arūnas Barauskas, Energetikos mokslo magistras
Tvirtino: Arūnas Barauskas, Energetikos mokslo magistras
Redagavo: Jurgita Impolienė

Turinys

Įvadas 3

1	Šiaudų paruošimo ir panaudojimo kurui technologijų Lietuvoje ir užsienyje apžvalga	4
1.1	Šiaudų kuro potencialas Lietuvoje	5
1.2	Šiaudų ir žolinių augalų kuro sudėtis ir savybės	7
1.3	Šiaudų ir žolinių augalų paruošimo kurui technologijų apžvalga	12
1.3.1	Presuoti ryšuliai ir ritiniai	13
1.3.2	Granulės	17
1.3.3	Šiaudų briketai	24
1.3.4	Granulių ir briketų standartai	29
1.4	Šiaudų kuro deginimo aplinkosauginiai aspektai	30
1.5	Šiaudų ir žolinių augalų kuro deginimo technologijų apžvalga	32
2	Rekomendacijos dėl šiaudų kuro ruošimo ir panaudojimo technologijų tolimesnio taikymo šalyje	37
3	Biokuro briketų iš susmulkintų šiaudų ir žolinių augalų galimybių ištyrimas ir įvertinimas	39
4	Rekomendacijos dėl biokuro briketų iš susmulkintų šiaudų ir žolinių augalų gamybos technologijos parinkimo ir gamybos	44
5	Išvados ir pasiūlymai	46

Įvadas

Studiją parengė UAB „COWI Baltic“ pagal Lietuvos Respublikos ūkio ministerijos užsakymą.

Šiaudai yra ekologiškas, atsinaujinantis, vietinis kuras, kurio platesnis naudojimas šalyje turi būti skatinamas. Šio kuro naudojimas generuoja teigiamus aplinkosauginius, socialinius bei ekonominius efektus.

Nustatyta, kad kasmetinis šiaudų potencialas, kuris gali būti konvertuotas į biokurą Lietuvoje sudaro apie 400 tūkst. t. Didžiausi šiaudų kiekiai susidaro Šiaulių ir Panevėžio regionuose, kai tuo tarpu mažiausiai - Telšių ir Utenos rajonuose.

Šiaudų kuro ruošimas atliekamas pasitelkiant skirtingas technologijas. Pasirinkimas priklauso nuo norimo gauti kuro savybių. Pats paprasčiausias būdas yra šiaudų presavimas į ritinius ir tiesioginis deginimas specialiose pakurose. Kitas būdas yra šiaudų briketavimas, kuomet gaunamas sutankintas stambesnių parametrų produktas artimas malkiniam kurui. Ir trečiasis šiaudų kuro ruošimo būdas yra granuliavimas. Sutankintos šiaudų granulės gali būti naudojamos automatizuotose šilumos gamybos sistemose.

Studijoje apžvelgiamos trys kuro ruošimo technologijos, apibūdinamos pageidautinos žaliavos savybės, apibūdinami gamybos procesai bei naudojama įranga. Apžvelgiami galiojantys ir rengiami kokybės reikalavimai, aptariami šiaudų deginimo aplinkosauginiai aspektai

Pateikiamos šiaudų kuro ruošimo ir panaudojimo technologijų tolimesnio taikymo šalyje rekomendacijos. Pristatomos šiaudų ir žolinių augalų briketavimo galimybės. Formuluojamos rekomendacijos dėl briketų technologijos parinkimo ir pačios gamybos organizavimo.

1 Šiaudų paruošimo ir panaudojimo kurui technologijų Lietuvoje ir užsienyje apžvalga

Atsinaujinančios energijos gamybai naudojamus augalus galima skirti į žolinius ir medžius (taip pat krūmus). Šiame darbe nagrinėjamos būtent žolinių augalų panaudojimo kuro gamybai galimybės, didžiausią dėmesį skiriant šiaudų kurui.

Nepanaudotos žemės ūkio atliekos, tokios kaip šiaudai, gali būti sėkmingai naudojami kuro gamybai. Per praėjusius metus pasėlių plotai Lietuvoje sudarė 1,1 mln. hektarų, iš kurių buvo gautas 3500 - 4000 tūkst. t. šiaudų derlius. Deja ne visi šiaudai gali būti panaudoti kuro gamybai, būtina numatyti šiaudų poreikį gyvulių pašarui bei kraikui, daržininkystei, kitoms reikmėms, pagaliau patiriami ir derliaus nuėmimo nuostoliai. Likutinis šiaudų kiekis sudaro 1,5 tūkst. t. Kurui galima būtų sunaudoti apie trečdalį šiaudų likučio arba apie 12-15 % bendro šiaudų derliaus, kas vidutiniškai sudarytų 400 tūkst. t arba ekvivalentą 100 ktne.

Pagrindinės žolinės augalinės kultūros iš kurių gali būti gaminamas kuras yra žieminiai javai (kviečiai, kvietrugiai, rugiai, miežiai), vasariniai javai (kviečiai, miežiai, kvietrugiai, avižos, griekiai, varpinių mišiniai, kiti javai) ir rapsai (vasariniai rapsai, žieminiai rapsai).

Šiaudų kuro naudojimo privalumai:

- Aplinkosauginis efektas - biomasės yra laikoma neutrali CO₂ išmetimams, t.y. neprisideda prie anglies dvideginio kiekio didinimo atmosferoje. Susidarantys pelenai nėra pavojingos atliekos ir netgi gali būti panaudoti žemės ūkyje ir miškuose kaip trąšos.
- Socialinis efektas. Bus sukurta šiaudų kuro gamybos ir naudojimo infrastruktūra. Tai paskatintų naujų darbo vietų kūrimąsi žemės ūkio, kuro ruošimo, aprūpinimo įranga sektoriuose.
- Ekonominis efektas. Padidinus vietinio kuro dedamąją šalies kuro balanse bus sumažintas brangaus iškastinio kuro importas. Pajamos už sunaudojamą kurą atitenka šalies ekonomikai. Padidinimas energijos tiekimo šalyje saugumas ir nepriklausomumas nuo išorės kuro importuotojų.

Nepaisant akivaizdžių privalumų reikia pastebėti, kad esti ir sunkumų sietinų su konkurencijos atsiradimu tarp energetinių ir maistinių augalų, kas įtakoja maisto

kainų augimą; dirvožemio skurdinimu, kuomet į žemę neįterpiamos žemės ūkio atliekos; aukštais ekonominiais kaštais; šiaudų derliaus sezoniškumu.

1.1 Šiaudų kuro potencialas Lietuvoje

Remiantis Lietuvos statistikos departamento duomenimis 2006 metais šiaudų kurui tinkamų pasėlių plotai Lietuvoje sudarė 1113,7 tūkstančius hektarų. Šių plotų kitimas per pastaruosius metus pateiktas Lentelė 1.

Lentelė 1. Pasėlių plotai Lietuvoje

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Javai (tūkst.ha)	979,6	935,9	918,0	864,6	878,5	956,1	962,9
Rapsai (tūkst.ha)	55,5	50,7	60,0	66,6	100,6	109,4	150,8

Iš vieno hektaro prikuliamų grūdų ir gaunamų šiaudų santykis lygus ~0,9 [3]. Priimant, kad vidutinis grūdų derlius siekia ~2,9 t/ha, gaunama, kad iš ~1 mln. hektarų pasėlių nuimamas ~3200 tūkst. t šiaudų derlius. Įvertinus rapso šiaudų dedamąją bendrą šiaudų derlius Lietuvoje siekia ~3500 tūkst. t.

Įvertinus tai, kad kurui gali būti panaudota vidutiniškai 12-15% šiaudų derliaus, gaunama, kad metinis šiaudų kuro potencialas Lietuvoje sudaro apie ~400 tūkst. t, kurio energetinis ekvivalentas sudaro ~100 ktne.

Šiaudų kuro potencialas atskirose apskrityse pateiktas Lentelė 2[2]

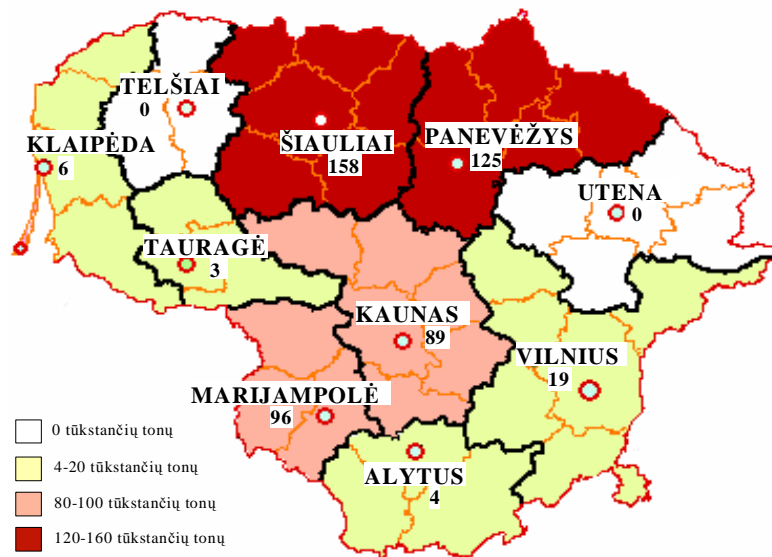
Lentelė 2. Biokuro potencialo pasiskirstymas pagal apskritis

Apskritys	Biokuro potencialas, tūkst. t		
	Mediena	Šiaudai	Energetiniai augalai
Alytaus	99	4	276
Kauno	243	89	395
Klaipėdos	71	6	336

Lentelė 2. Biokuro potencialo pasiskirstymas pagal apskritis (tesinys)

Apskritis	Biokuro potencialas, tūkst. t		
	Mediena	Šiaudai	Energetiniai augalai
Panevėžio	133	125	444
Šiaulių	186	158	392
Tauragės	120	3	213
Telšių	82	0	303
Utenos	81	0	654
Vilniaus	224	19	882

Šiaudų kuro potencialo geografinis pasiskirstymas regionuose pateiktas 1 pav.



1 pav. Šiaudų kuro potencialo regioninis pasiskirstymas [2]

Didžiausi šiaudų kiekiai susidaro Šiaulių ir Panevėžio regionuose (apie 60 % viso potencialo), kai tuo tarpu mažiausi kiekiai susidaro Telšių ir Utenos regionuose.

Šiaudų derliaus nuėmimas ir sandėliavimo būdai

Po rugiapjūtės palikti lauke šiaudai pradžiūna (bazinis drėgmės lygis skaitomas 15 %). Iš pradalgių šiaudai yra surenkami ir presuojami į ryšulius arba ritinius. Pagal formuojamą ritinį ar ryšulį galima išskirti tris grupes:

- Ū Surinkti šiaudai yra presuojami į nedidelius stačiakampius ryšulius, kurių matmenys yra 0,5*0,4*0,8 – 1,2 m. Svoris iki 15 kg.
- Ū Šiaudai presuojami į didelius stačiakampius ryšulius, kurių matmenys yra 1,2*0,7 – 0,9*2,35 – 3 m. Svoris 300 – 500 kg.
- Ū Šiaudai yra presuojami ir formuojamas ritinys, kurio skersmuo siekia 1,2 – 1,8 m, ritinio (cilindro) ilgis 1,2 – 1,5 m. Tankumas – nuo 150 iki 250 kg/m³.

Supresuoti ritiniai ar ryšuliai yra kūrenami didesnėse jėgainėse arba katilinėse. Šiaudų derlius yra nuimamas per trumpą laiką vieną kartą per metus, todėl jų sandėliavimui reikalingi dideli plotai. Neturint kur sandėliuoti, šiaudus galima perdirbti į granules arba briketus, kurie savo ruožtu gali būti sunaudojami tiek jėgainėse (katilinėse), tiek ir apšildant individualius namus.



2 pav. Šiaudų kuro sandėliavimas

Šiaudų ryšulių arba ritinių sandėliavimas prieš juos naudingai sudeginant ar sutankinant turėtų būti vykdomas aplinkoje, kurios tiesiogiai neveikia krituliai ar paviršiniai vandenys. Tai gali būti šieno daržinės, dengti pastatai, blogiausiu atveju šiaudai gali būti sandėliuojami nuo drėgmės izoliuotose stirtose. Šiuo atveju dėl drėgmės gali būti prarandama iki 10 % šiaudų derliaus.

1.2 Šiaudų ir žolinių augalų kuro sudėtis ir savybės

Šiaudai, kaip ir bet kuris kitas biologinis audinys, sudarytas iš ląstelių, kurios savo ruožtu susideda iš ląstelės sienelės bei vidinės erdvės užpildytos citoplazma ir joje terpsiančiais organoidais.

Vertinant pagal sausą masę, sienelės audinys sudaro 80-90%, kai ląstelės vidaus turinys – 10-20 %. Molekuliniame lygyje, šiaudų sandara kaip ir beja medienos susideda ir trijų tipų angliavandenių molekulių: celiuliozės, hemi-celiuliozės ir lignino. Pastarasis atlieka klijų vaidmenį sujungdamas ląsteles bei formuodamas augalo audinį. Didžiausias skirtumas lyginant medienos ir šiaudų audinius yra tas, kad šiauduose yra didesnė dalis hemi-celiuliozės bei mažiau lignino. Dėl šios priežasties šiaudų ląstelės pasižymi mažesniu atsparumu tempimui ir gniuždymui.

Lentelė 3. Medienos ir šiaudų audinių sandaros palyginimas [1]

	Šiaudai			Minkštoji mediena	Kietoji mediena
	stiebas	viršūnė	lapai		
Augalo sudėtis, %	100	100	100	100	100
Ląstelės sienelė	90	79	76	95	93
Silicio dioksidas	3	11	11	<0,5	<0,5
Ekstraktas	7	13	13	4,5	6,5
Ląstelės sienelės sudėtis, %	100	100	100	100	100
Celiuliozė	40	40	35	45	42
Hemi-celiuliozė	45	40	55	25	38
Ligninas	15	20	10	30	20

Biomasės arba konkrečiai šiaudų naudojimą lydi keletas praktinių problemų. Pagrindiniai sunkumai siejami su dideliu piltinių medžiagų tūriu, kuris tiesiogiai sąlygoja aukštus transportavimo kaštus, reikalauja didelių sandėliavimo plotų. Kita vertus šiaudai ir žoliniai augalai pasižymi gan aukštu drėgmės kiekiu, tai savo ruožtu neigiamai veikia kuro padavimo į pakurą, sistemas, atsiranda jų užšalimo pavojus. Aukštas drėgmės lygis skatina žaliavos biodegradaciją. Papildomai drėgmės kiekio svyravimas kure trikdo optimalų jėgainės ar katilinės darbo režimą, apsunkina procesų kontrolę ir valdymą.

Visos išvardintos problemos gali būti išspręstos sutankinant šiaudus, t.y. suspaudžiant, suteikiant kurui pastovias savybes. Pagrindiniai sutankinto kuro pranašumai prieš nesutankintą yra:

- Padidėjęs medžiagos tankumas (nuo 80-150 iki 600-700 kg/m³) leidžia sumažinti transportavimo kaštus bei saugojimo pajėgumus.

- Pasiekiamas žemesnis drėgmės kiekis (mažiau kaip 10%) leidžia kurą ilgiau sandėliuoti bei patiriami mažesni jo nuostoliai saugojimo laikotarpiu (lėtesnė biodegradacija).
- Padidėjęs energijos tankis tūrio vienetu bei homogeniška sandara leidžia geriau kontroliuoti degimo procesą, taip didinant energijos gamybos efektyvumą bei mažinant degimo produktų emisijas.

Šiaudų kuro elementinė sudėtis pateikta Lentelė 4. Kuro peleningumas priklauso nuo šiaudų rūšies svyruoja nuo 4 - 7 %.

Lentelė 4. Šiaudų kuro elementinė sudėtis

Šiaudai	Elementinė sudėtis, %					
	C	H	O	N	S	A
Kvietiniai	48,53	5,3	39,08	0,28	0,05	6,53
Miežiniai	45,67	6,5	38,26	0,43	0,11	4,30
Rapsų	35,93	4,6	38,48	0,57	0,34	6,14
Kukurūzų	47,09	5,4	39,79	0,81	0,12	5,77

Nepaisant to, kad didžiausias šiaudų ir žolinių augalų biomasės potencialais tenka būtent šiaudams, energetinėms reikmėms gali būti panaudojami ir kiti žoliniai augalai bei trumpos rotacijos energetiniai miškai. Tiesa, pramoniniu būdu auginamos žolinių augalų plantacijos Lietuvoje nėra paplitusios, tačiau tai gali būti vertinama kaip potenciali galimybė išnaudoti mažai derlingas žeme ateityje.

Žolinius augalus galima skirstyti į tradicinius ir netradicinius. Tradicinėms priskiriama žolė, kuri naudojama kaip pašarų gamybos žaliava. Energetiniams tikslams gali būti naudojamos tokios žolės (3 pav.) kaip daugiamečiai lubinai (lot. *Lupinus perennis*), beginklės dirsuolės (lot. *Bromopsis inermis*), nendriniai eraičiai (lot. *Festuca arundinacea*), nendriniai dryžučiai (lot. *Phalaroides arundinacea*) ir t.t. Žolės derliaus nuėmimui ir dorojimui naudojama identiška technika kaip ir šiaudams.

Taip pat kaip iš šiaudai, nuimta žolė turi būti išdžiovinta mažiausiai iki 20 % drėgmės kiekio. Sausa žolė supresuojama į ritinius ir transportuojama iki saugyklos.



3 pav. Tradiciniai žoliniai augalai naudojami energetiniams tikslams:
 1 - daugiamečiai lubinai; 2 - beginklės dirsuolės; 3 - nendriniai eraičinai;
 4 - nendriniai dryžučiai

Netradiciniai žoliniai augalai, dar vadinami stambiasiebiai, yra topinambai, saulėgražos, nendrės, kanapės. Stambiasiebių augalų panaudojimą energetinėms reikmėms Lietuvoje tiria Lietuvos žemės ūkio universiteto Žemės ūkio inžinerijos institute. Po institute atliktų tyrimų buvo gauti rezultatai, kad bendrosios tradicinių žolinių augalų auginimo ir nuėmimo energijos sąnaudos yra nuo 1,3 karto mažesnės už saulėgražų stiebų iki 1,7 karto mažesnės už topinambų stiebų auginimo ir nuėmimo energijos sąnaudas. Gauta išvada, kad energetiniu požiūriu tradicinių žolių auginimo ir nuėmimo technologija yra pranašesnė už stambiasiebių augalų auginimo ir nuėmimo technologijas.

Šiaudų ir žolinių augalų kuro šiluminės vertės dydis priklausomai nuo augalo rūšies pateiktas Lentelė 5.

Lentelė 5. Šiaudų ir žolinių augalų drėgmės kiekis bei šilumingumas [9]

Augalų pavadinimas	Biomosės drėgnis, W, %	Aukštesnė degimo šiluma ¹ Q _a , MJ/kg	Sausosios masės žemutinė degimo šiluma, Q _{zs} , MJ/kg
Gluosnis - žilvitis	9,8	17,5	17,63
Ilgalapis gluosnis	7,6	17,8	17,6
Beržas	6,9	18,5	18,24
Nendrės	11,3	17,5	17,89

¹ Kuro degimo šiluma vadinamas šilumos kiekis, gautas visiškai sudeginus 1 kg kietojo bei skystojo arba 1 n.m³ dujinio kuro. Skiriamos dvi kuro šiluminės vertės: aukštesnė ir žemutinė. Skirtumas tarp jų yra toks, kad į aukštesnę kuro degimo šilumą įeina šiluma, išsiskirianti kondensuojantis dūmuose esantiems vandens garams, kurie susidaro garuojant kure esančiai drėgmei ir degant vandeniliui.

Lentelė 5. Šiaudų ir žolinių augalų drėgmės kiekis bei šilumingumas (tęsinys)

Augalų pavadinimas	Biomasės drėgnis, W, %	Aukštesnė degimo šiluma Q_a , MJ/kg	Sausosios masės žemesnė degimo šiluma, Q_{zs} , MJ/kg
Kanapės	8,2	17	16,82
Topinambai	9,5	16,3	16,26
Kvietiniai šiaudai	9,8	16,5	16,52
Miežiniai šiaudai	10,6	16,4	16,54
Nendriniai dryžučiai	4,3	18,24	17,54
Beginklės diršės	6	18,16	17,72
Nendrių dryžūčių su geltonžiedžiais barkūnais mišinys	4,6	18,32	17,67
Beginklių diršių su geltonžiedžiais barkūnais mišinys	6	18,57	18,16

Didelę įtaką šiaudų kuro šiluminei vertei turi drėgmės kiekis. Kuro kaloringumo priklausomybė nuo drėgmės pateikta Lentelė 6.

Lentelė 6. Šiaudų kuro kaloringumo priklausomybė nuo drėgmės

Drėgmė (W), %	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	7,4

Kaip jau buvo minėta, drėgmės buvimas kure mažina jo šilumingumą bei spartina šiaudų biodegradaciją – patiriami sandėliavimo nuostoliai. Mažas drėgmės kiekis kure pasiekiamas savalaikiai surenkant šiaudus arba papildomai juos džiovinant.

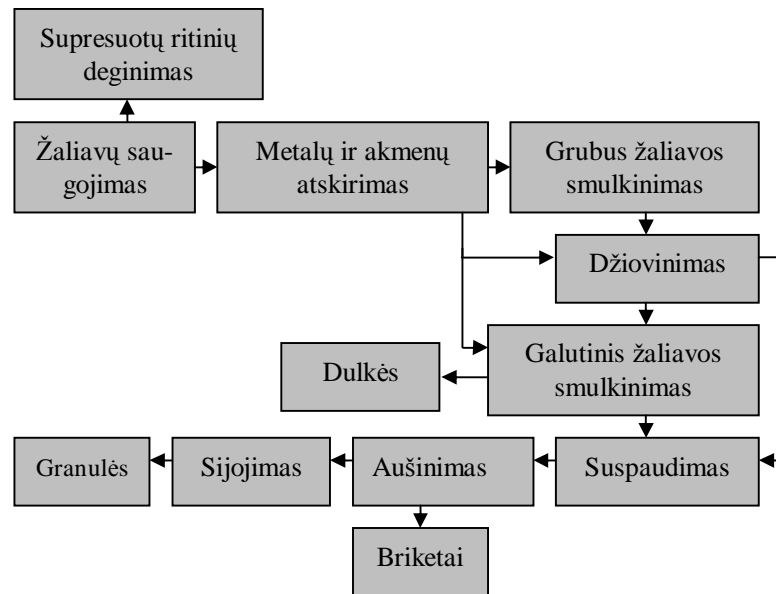
1.3 Šiaudų ir žolinių augalų paruošimo kurui technologijų apžvalga

Šiame skyriuje bus apžvelgtos šiaudų ir žolinių augalų panaudojimo kurui galimybės. Pagrindinis dėmesys bus skiriamas šiaudų ir žolinių augalų žaliavos naudojimui gaminant:

- ū supresuotus ritinius (ryšulius);
- ū granules;
- ū briketus.

Bus aptarti biomasės kuro gamybos ypatumai apibūdinant techninius, ekonominius bei ekologinius aspektus. Skyriaus pabaigoje bus atliktas pateiktų šiaudų kuro rūšių palyginimas.

Bendra kuro iš šiaudų ir žolinių augalų ruošimo etapų schema pateikta žemiau esančiame paveiksle.



4 pav. Kuro iš šiaudų ir žolinių augalų ruošimo etapų schema

Biokuro gamybos žaliava – šiaudai ir žoliniai augalai saugomi supresuoti į ritinius ar ryšulius sukrauti laukuose ar specialiose patalpose apsaugojant juos nuo drėgmės.

Supresuoti ritiniai gali būti tiesiogiai naudojami kaip biokuras, deginant juos specialiai šiaudų ritinių deginimui skirtose pakurose (plačiau žr. sk. 1.5). Kitas biokuro ruošimo būdas yra šiaudų sutankinimas, gaminat briketus bei granules.

Dėl skirtingo drėgmės kiekio ir dalelių dydžio, briketavimo ir granuliavimo procesams keliami skirtingi reikalavimai. Pradžioje žaliava yra išvaloma nuo priemaišų (metalo ir akmenų) ir sumulkinama. Jeigu reikalinga, susmulkinta žaliava papildomai džiovinama. Prieš suspaudžiant, priklausomai nuo galutinio produkto (briketai ar granulės) žaliava galutinai susmulkinama.

Svarbu paminėti, kad šiaudų ir žolinių augalų granuliavimui ir briketavimui yra naudojama **ta pati technologija bei įranga**. Priklausomai nuo naudojamos žaliavos (šiaudai ar žolė) įranga yra specialiai suderinama, tačiau patys įrenginiai nėra keičiami.

1.3.1 Presuoti ryšuliai ir ritiniai

Po derliaus nuėmimo šiaudai paliekami pradalgėse. Palaidų šiaudų kaina šiais metais siekia iki 105 Lt/t. Iš pradalgių šiaudai yra surenkami ir supresuojami į ritinius arba į ryšulius. Būtina paminėti, kad po kombaino nupjovimo šiaudai turėtų būti surinkti per 1-2 paras.



5 pav. Presuoti šiaudų ritiniai (kairėje) ir ryšuliai (dešinėje)

Tokioje formoje šiaudai yra transportuojami į saugojimo vietas arba pristatomi į perdribimo įmones ar jėgaines (katilines). Rekomenduojamas žaliavos transportavimo atstumas siekia 60 km [16].

Pradalgėse gulinčių šiaudų surinkimui naudojami savaeigiai arba tempiami presai. Presas atlieka dvi funkcijas: surenka laukuose gulintį šiaudų derlių (palaidus šiaudus) bei juos presuoja.



6 pav. Šiaudų presas (kairėje) ir šiaudų surinktuvas su integruotu smulkintuvu

Šiaudų surinkimo metu šie gali būti papildomai smulkinami, taip pasiekiant didesnę presavimo tankį. Supresuoti šiaudų ritiniai yra apvyniojami špagatu arba tinkleliu taip paruošiant juos transportavimui. Vidutiniai 2007 metų šiaudų presavimo įkainiai Lietuvoje sudaro nuo 50 iki 200 Lt/ha, vidutinis įkainis sudarė 103 Lt/ha. Perskaičius kainą šiaudų kiekiui gaunama, kad 1 tonos šiaudų presavimas į ritinius atsieina vidutiniškai 32 Lt.

Pirmoji šiaudais kūrenama katilinė Lietuvoje buvo pastatyta 1996 metais Nartekiuose. Bendradarbiaujant su Danijos energetikos agentūra buvo įgyvendintas projektas, kurio išdavoje buvo pastatyta 1MW galios katilinė aprūpinanti šiluma Pasvalio rajono Joniškėlio aukštesniąją žemės ūkio mokyklą. Iš šalia katilinės esančio šiaudų saugojimo sandėlio šiaudų ryšuliai konvejeriu yra transportuojami į smulkintuvą iš kurio nuolatos tiekiami į katilo kūryklą. Nenutrūkstamas kuro tiekimas užtikrina efektyvesnę degimo proceso reguliavimą bei pastovumą. Vėliau panašios šiaudais katilinės buvo įrengtos Lavėnuose, Vaškuose bei Gružuose.



7 pav. Juknaičių šiaudus deginanti katilinė

Kitas pavyzdys galėtų būti 2001 metais Juknaičiuose pastatyta 1,36 MW galios šiaudais kūrenama katilinė.

Katilinėje sumontuoti keturi gamintojo UAB „Umega“ katilai AKU – 340, galintys deginti šiaudus ir durpių briketus. Vienu metu į katilą pakraunamas vienas šiaudų ritinys, kuris dega apie 5 valandas. Šiaudams visiškai sudegus pelenai pašalinami mechaniškai. Katilinę eksploatuojanti įmonė UAB „Šilutės šilumos tinklai“ siekdama sumažinti naudojamo kuro kaštus įsigijo šiaudų surinkimo techniką ir šiaudus surenka pati (nuomoja iš ūkininkų laukus po grūdų derliaus nuėmimo). Toks apsirūpinimo kuru metodas yra pigesnis nei tiesiogiai perkant šiaudus iš ūkininko.

Vidutiniškai katilinėje sudeginama 1200 tonų šiaudų per metus.

Apibendrinti duomenys apie Lietuvoje pastatytas šiaudų kurą deginančias katilines pateikti Lentelė 7.

Lentelė 7. Šiaudais kūrenami katilai Lietuvoje 2007 metais

Katilinė	Katilų skaičius, vnt.	Katilo galia, MW	Bendra galia, MW
Narteikiai	1	1,0	1,0
Grūžiai	1	0,375	0,375
Vaškai	1	0,375	0,375
Lavėnai	2	0,375	0,75
Juknaičiai	4	0,340	1,360
Kuigaliai	1	0,340	0,340
Kaišiadorių raj.	1	1,0	1,0
Ūkininkų ūkiuose	~30 – 35	~0,05	1,5 – 1,75
Viso			~ 7

Kaip matyti iš pateiktos lentelės, bendras instaliuotas šiaudų deginimo katilinių galingumas Lietuvoje sudaro tik apie 7 MW. Instaliuoti mažos galios katilai neviršijantys 1 MW galios.

Galima teigti, kad šiaudų kuro paklausos bei pasiūlos rinkos Lietuvoje tik pradeda formotis. Šiaudų kuro kaina kinta ir priklauso nuo pasirinkto įsigijimo būdo. Galimi trys šiaudų įsigijimo būdai. Pigiausias variantas, kai šiaudais kūrenamo katilo savininkas yra žemės ūkio institucija, turinti nuosavus šiaudų išteklius.

Antras, ekonomiškai patraukliausias būdas yra laukų išsinuomavimas, kai juose yra nuimtas derlius. Šiuo atveju šiaudai yra surenkami tiesiogiai nuo lauko, presuojami ir transportuojami į saugojimo ar panaudojimo vietas. Ir trečias būdas, kuris generuoja didžiausius šiaudų kuro įsigijimo kaštus, tai tiesioginis šiaudų pirkimas iš ūkininkų.

Šiaudų kaina Lietuvoje prieš porą metų svyravo intervale nuo 3,79 iki 5,36 Lt/GJ [8]. Šiuo metu, įvertinus palaidų šiaudų pirkimo kainą lauke (vertinime priimta 3,45 Lt/GJ) ir šiaudų presavimo proceso metu patiriamas sąnaudas, pagamintų šiaudų ritinių kaip žaliavos kaina išauga iki 9,5 Lt/GJ (arba 137 Lt/t šiaudų su baziniu 15 % drėgnumu). Stebint iškastinio kuro nuolatinį brangimą tikėtina, kad šiaudų kuro kainos augimo tendencija artimiausioje ateityje taipogi augs.

Ruošiant kurą iš šiaudų ir žolinių augalų būtina speciali technika, tai presai, suspaustų šiaudų transportavimo priemonės bei sandėliavimo plotai. Lietuvoje galima įsigyti įvairių gamintojų, tokių kaip „Johne Deere“, „Krone“, „Class“, „Big Bale Company“ ir kitų, įrangą. Investicijos į šiaudų presus gaminančius stačiakampius ryšulius siekia nuo 350 iki 550 tūkst. Lt. Presuojant ritinius, įrangos kaina žemesnė ir siekia apie 100 tūkst. Lt. Stebimas didelis kainų skirtumas tarp didelių stačiakampių ryšulių ir ritinių susidaro todėl, kad pagal užsienyje nusistovėjusią praktiką (pvz.: Danijoje) dideli šiaudų ryšuliai naudojami katilinėse ir jėgainėse. Iš esmės jėgainės priima tik tokios formos supresuotus šiaudus, kai tuo tarpu ritiniai populiariesni gaminant pašarus ir kraiką. Lietuvoje padėtis skiriasi, didelių jėgainių deginančių šiaudus neturime, o vyrauja mažos galios šiaudų ritinius deginančios katilinės.

Supresuotos žaliavos (šiaudų ritinių) transportavimui naudojamos savikrovės priekabos, kurių vidutinė kaina rinkoje siekia nuo 36 iki 120 tūkst. Lt. Keliamoji galia svyruoja nuo 6 iki 17 tonų, galima pervežti nuo 6 iki 16 ritinių.

Sąnaudos supresuotų šiaudų ritinių transportavimui sudaro 17,6 Lt/t [17]. Savikrovės priekabos pakrauna ritinius ir yra nutempiamos iki sandėliavimo vietos. Priekabos tempimui naudojami traktoriai.

Kaip jau buvo minėta, supresuoti šiaudai gali būti tiesiogiai naudojami energijos gamybai arba gali tarnauti kaip žaliava kitų produktų, tokių kaip šiaudų granulės ir briketai, gamybai. Rekomenduojamas maksimalus žaliavos gabenimo atstumas – 60 km [16].

Atsižvelgiant į tai, kad šiaudų derlius nuimamas per trumpą laiką, susidarantys dideli žaliavos kiekiai privalo būti tinkamai saugomi iki tolimesnio jų panaudojimo. Supresuotų šiaudų saugojimas gali būti organizuojamas lauke. Savikrovės priekaba sukrauna šiaudų ritinius į tvarkingas rietuves. Rietuvės papildomai turi būti apsaugotos nuo drėgmės, t.y. rekomenduojama jas dengti vandeniu nelaidžia plėvele. Šis būdas reikalauja mažiausiai sąnaudų, tačiau taip saugojant žaliavas patiriami gan dideli nuostoliai.

Kitas būdas, pasinaudoti jau esama šiaudų ar šieno saugojimo infrastruktūra. Šiuo atveju, papildomos investicijos sandėliavimo plotams įrengti nereikalingos.

Jeigu tokios infrastruktūros nėra, reikia numatyti lėšas nauju saugojimo plotų įrengimui. Preliminarios kainos kuro sandėliavimo angarų įrengimui pateiktos žemiau esančioje lentelėje.

Lentelė 8. Preliminarios metalinių sandėliavimo angarų įrengimo kainos

Angaro tūris, m ³	730	1140	1368	1710	2052
Kaina	100 000 Lt	127 000 Lt	144 000 Lt	176 000 Lt	200 000 Lt

Preliminarūs sandėliavimo kaštai apskaičiuojami darant šias prielaidas:

- Pastato tarnavimo laikas - 15 metų;
- Šiaudų ritinių tankis - 250 kg/m³.

Pasirinktame 1368 m³ metaliniame angare galima saugoti 290 tonų šiaudų (priimama, kad dėl ritinių formos ne visas tūris gali būti naudingai išnaudotas). Per metus angaro eksploatacijos kaina sutarys 144 000 /15 = 9600 Lt. Vienos tonos sandėliavimo kaštai siekia 33 Lt.

Pateiktos šiaudų sandėliavimo kainos atitinka maksimalias sąnaudas, nes yra statomas naujas pastatas. Siekiant sumažinti patiriamus kaštus reikia ieškoti galimybių pasinaudoti jau esama infrastruktūra arba sandėliuoti šiaudus lauke uždengus juos vandeniui nelaidžia plėvele.

1.3.2 Granulės

Granulių gamyba, kaip ir briketų gamyba, leidžia sutankinti pirminę žaliavą, t.y. šiaudus nuo 150-250 kg/m³ iki 600 kg/m³, taip padidinant energijos kiekį tūrio vienetu bei sumažinant būtinus sandėliavimo plotus.



8 pav. Šiaudų granulės

Svarbu paminėti, kad granulės naudojamos mechanizuojant biokuro tvarkymo ūkį bei automatizuojant degimo procesus tiek didelėse jėgainėse (arba katilinėse), tiek individualių pastatų katilinėse. Šiaudų briketų (arba apskritai briketų) naudojimas automatinėse kuro padavimo sistemose yra komplikuoatas. Tam tikslui turi būti specialiai gaminami minkštesni briketai, kuriuos galėtų traiškyti kuro padavimo sistemos sraigtai ir pan.

Palyginimui Lentelė 9 pateikiamos pagrindinės šiaudų ir medienos granulių bei kitų žaliavų charakteristikos.

Lentelė 9. Šiaudų ir medienos granulių bei jų žaliavų charakteristikos

	Tankis, (kg/m ³)	Drėgmė, %	Šiluminė vertė, MJ/kg	Pelenai, %	Energijos tankis, GJ/m ³
Šiaudai (susmulkinti)	50	10-20%	14,5	5	0,7
Šiaudai (ritinys)	130	10-18%	14,5	5	1,9
Šiaudų granulės	450 - 650	<10%	15,0	5	9
Medienos skiedra	250	10-50%	11-17	0,5	4,3
Medienos pjuvenos	200	20-50%	12-17	0,5	3,4
Medienos granulės	650	<10%	17,5	0,5	11,4
Anglis	850	10-15%	24	12	20,4

Šalia pateiktų šiaudų granulių charakteristikų galima paminėti, kad tvarkant ir transportuojant produkciją patiriami nuo 5 % iki 10 % nuostoliai, kuomet granulės suyra į miltus. Kitas svarbus bruožas yra tai, kad granulėse yra sieros, kuri spartina biokurą deginančios įrangos koroziją.

Lyginant atskirus kūrus pagal jų šiluminingumą gaunama tokia ekvivalentiškumo grandinė pagal užimamą tūrį:

$$1 \text{ m}^3 \text{ naftos} = 6 \text{ m}^3 \text{ medienos} = 18 \text{ m}^3 \text{ skiedrų} = 3 \text{ m}^3 \text{ medžio granulių} = \\ = 4 \text{ m}^3 \text{ šiaudų granulių} = 5 \text{ m}^3 \text{ šiaudų briketų}$$

Lyginant granulių gamybą, tam naudojant medžio atliekas arba šiaudus, galima tvirtinti, kad didesnių skirtumų vykdomame granuliavimo procese (išskyrus energijos poreikį) naudojamoje įrangoje nėra.

Pagrindiniai procesai lydintys granulių gamybą yra:

- Ū Šiaudų paruošimas ir smulkinimas;
- Ū Susmulkintos žaliavos kondicionavimas;
- Ū Granuliavimas;
- Ū Aušinimas ;

Visi išvardinti procesai bus aptariami toliau šiame skyriuje.

Šiaudų paruošimas ir smulkinimas

Dažniausiai šiaudai yra transportuojami rulonais, kurio masė siekia 500 kg. Skirtingai nuo medienos žaliavų, šiaudai būna labiau užteršti (žemė, akmenys ir kt.). Priemaišų kiekis šiauduose tiesiogiai priklauso nuo žaliavos surinkimui naudojamų metodų. Bendru atveju galima teigti, kad kuo mažesnė ražiena yra paliekama lauke, tuo didesnė tikimybė, kad surinkti šiaudai bus užteršti.

Siekiant išvengti smulkinimo įrangos gedimų bei prailginti jos tarnavimo laiką būtina numatyti priemones, kurios leistų pašalinti šiauduose pasitaikančias priemaišas, pvz., akmenis.

Pagrindiniai parametrai garantuojantys aukštą granulių kokybę yra jų homogeniškumas bei tinkamas žaliavos paruošimas. Šiuo atveju šiaudų paruošimas ir smulkinimas turi didžiulę įtaką būsimai granulių kokybei.

Šiaudų smulkinimas skirtingai nuo medienos yra vykdomas dviem etapais. Pirmajame šiaudų ritinys ar ryšulys yra supjaustomas, t.y. šiaudų ritinys suardomas, gaunami palaidi sukapti šiaudai.

Antrajame etape šiaudai galutinai susmulkinami iki reikalingo dydžio. Susmulkintų šiaudų dalelės dydis turėtų būti apie 85 % ar mažesnis nei gaminamos granulės storis.



9 pav. Šiaudų smulkinimas: 1– palaidi sveiki šiaudai; 2 – sukapti šiaudai; 3 – galutinai susmulkinti šiaudai; 4 – susmulkintas šiaudas iš arti

9 pav. pateiktas šiaudų vaizdas prieš ir po smulkinimo. Pirmuoju atveju turimi sveiki šiaudai, kurie dar nebuvo apdirbti (pvz.: šiaudai sukąpojusi ritinį). Antrame paveikslėlyje pateikti supjaustyti šiaudai, kuriuose 60 % žaliavos susideda iš dalelių trumpesnių nei 60 mm ir 99 % dalelių, kurios yra trumpesnės nei 100 mm. Trečiame paveiksle pateiktas šiaudų praėjusių smulkinimo fazę vaizdas. Ketvirtame paveiksle pateikiamas padidintas susmulkintų šiaudų vaizdą. Šiaudo cilindras yra suardytas, todėl rišančios medžiagos gali lengviau patekti į šiaudo vidų.

Džiovinimas

Kaip jau buvo minėta, šiaudai į granulių gamybos vietą dažniausiai pristatomi rulonais, kuriuose drėgmės kiekis siekia vidutiniškai 15 %. Granuliavimo procesui reikalinga, kad drėgmės kiekis šiauduose neviršytų 20 %.

Esant poreikiui, reikiamas drėgmės kiekis šiauduose pasiekiamas juos džiovinant džiovyklose.

Rišančiųjų medžiagų suaktyvinimas ir priedų naudojimas

Gaminamose granulėse rišančioji medžiaga yra ligninas. Medienos žaliavoje esančio lignino pilnai pakanka granulės suformavimui. Šiauduose lignino kiekis yra mažesnis, todėl dažnai reikalingas papildomas procesas, kuris užtikrintų granulės tvirtumą bei neleistų jai suirti į miltus saugojimo metu.

Tam, kad pasireikštų lignino rišamosios savybės turi būti pasiekta tam tikra temperatūra bei drėgmės laipsnis. Tai yra įgyvendinama šiaudus veikiant garu arba karštu vandeniu. Dažniausiai patiekiamas garas, kurio temperatūra siekia 90-100°C, išlaikant 5% proporciją su žaliavos mase.

Rišančiųjų medžiagų naudojimas leidžia padidinti šiaudų granulių tvirtumą bei atsparumą, taip sumažinant gamybos procese susidarantių dulkių išsiskyrimą, mažinant nuostolius atsirandančius granulių transportavimo bei tvarkymo metu.

Kaip galimas naudoti rišančiąsias medžiagas galima paminėti krakmolą, melasą (cukraus gamybos atlieka), natūralų parafiną, augalinį aliejų, lignino sulfatą taip pat sintetinius rišiklius.

Šalia granulių tvirtumo didinimo priedai gali būti naudojami ir kitų šiaudų granulių kuro cheminių charakteristikų gerinimui. Pavyzdžiui šlako formavimuisi sumažinti gali būti naudojamas kaolinas arba kalcio ir magnio oksidai.

Rišantieji agentai taip pat gali būti naudojami siekiant sumažinti granulių sugeriamumo arba absorbavimo savybę.

Po Švedijoje atliktų bandymų [14] yra pastebėta, kad geriausi rezultatai pasiekiami naudojant ligniną. Dideli lignino sulfato kiekiai susidaro popieriaus pramonėje ir gali būti sėkmingai panaudoti šiaudų granuliavime. Tačiau verta atkreipti dėmesį, kad nors lignino sulfato, kaip rišančiosios medžiagos, savybės yra geros, tačiau jis taipogi padidina sieros ir pelenų kiekį kure. O tai savo ruožtu gali su-

kelti problemas susijusias su degimo produktų emisijomis, bei pačia deginimo įranga.

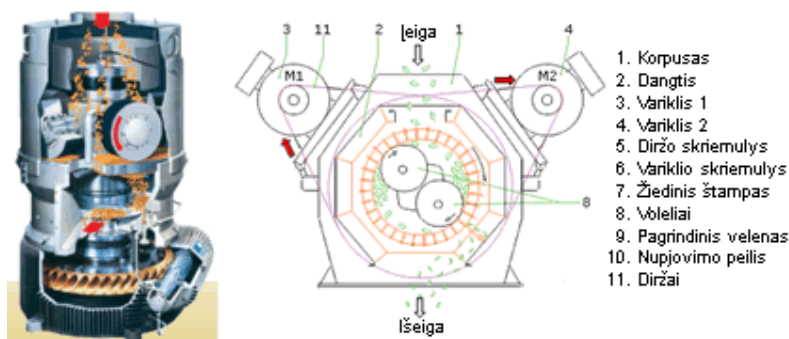
Labai svarbu paminėti, kad tokios modifikacijos, kaip granuliu presu skersmenų koregavimas, spaudimo laiko, temperatūros ir slėgio optimizavimas gali užtikrinti norimą granuliu kokybę be papildomų medžiagų naudojimo.

Apžvelgus rinkoje esančių granuliuavimo bei briketavimo įrenginių gamintojų rekomendacijas matyti, kad žaliavai naudojant šiaudus ir žolinius augalus papildomų **rišančiųjų medžiagų naudoti nereikia.**

Granuliuavimas

Paruošta ir susmulkinta žaliava yra transportuojama į granuliuavimo įrenginį, kuriame susmulkinta šiaudų masė yra suslegiama ir išspaudžiama per matricą.

Iš kitos štampos pusės išspaudžiami granuliu cilindrai yra nupjaunami, taip gaunant pageidaujamo ilgio granulės. Skiriami du granuliu presų tipai: plokščios matricos presas ir cilindro formos štampos presas. Granuliuavimo presai atitinkantys išvardintus tipus pateikti 10 pav.



10 pav. Plokščios (kairėje) ir cilindro formos (dešinėje) matricos granuliuavimo presai [1]

Plokščiosios matricos prese yra perforuotas disko formos štampos ant kurio sukasi du volai spaudžiantys žaliavą per skyles. Cilindro formos matricos prese, voleliai juda štampos žiedo vidiniu paviršiumi taip išspausdami granulės išorėn.

Šiuo metu granuliuavimo įrangos rinkoje siūlomų įrenginių gamybos našumo ribos siekia nuo 250 kg/h iki 30 000 kg/h.

Aušinimas

Likutinė drėgmė proceso įeigoje suspaudimo metu virsta garais, kurie padeda štampos tepimui. Po išspaudimo, granulės yra labai karštos, jų temperatūra siekia 90 – 100°C, todėl jos privalo būti greitai atvėsintos (dažniausiai oru) iki +25°C. Šiame etape pasireiškia lignino rišančiosios savybės ir granulės sutvirtėja. Pagamintos kokybiškos granulės yra atskiriamos, o likęs brokas bei dulkės grąžinamos į gamybą. Po granuliu sijojimo, kokybiškos granulės yra pakuojamos ir gali

būti transportuojamos klientui.

Energijos poreikiai

Remiantis gamintojų pateiktais duomenimis tipinė 600 – 800 kW galios šiaudų granuliavimo linija geba pagaminti iki 5 t/h produkcijos, kai vien granuliavimo procesui sunaudojama galia siekia 250 kW. Egzistuoja stiprus ryšis tarp energijos poreikio intensyvumo ir granuliavimo žaliavoje esančio dervų kiekio. Savitasis energijos suvartojimas, kompensuojantis suspaudimo jėgą svyruoja nuo 30 iki 50 kWh/t. Įvertinus tai, kad šiauduose dervų (lignino) kiekis yra žemas, savitasis energijos poreikis šiaudų granuliavimui siekia 50 kWh/t.

Dirbant su aukštą drėgmės kiekį turinčiomis žaliavomis didžiausia energijos poreikių dedamoji tenka džiovinimo etapui (vidutiniškai 950 kWh/t vandens išgarinti), kai tuo tarpu smulkinimo fazė lieka antroje vietoje. Žaliavai naudojant šiaudus, dažnai jie yra pristatomi su pakankamu drėgmės kiekiu ir džiovinimo procesas gali būti aplenkiamas.

Šiaudų granuliavimo proceso metu sunaudojama daugiau energijos negu naudojant medžio pjuvenas, tačiau sutaupyta energija aplenkiant džiovinimo etapą kompensuoja šį padidėjimą.

Energijos poreikių palyginimas skirtinguose procesuose bei skirtingų rūšių granuliu gamybai pateikiamas Lentelė 10.

Lentelė 10. Granulių gamybos procesuose sunaudojamos energijos poreikių palyginimas

Energijos poreikis (kWh/t)	Pjuvenos	Skiedra	Šiaudai
Smulkinimas	10-20	10-40	10-30
Džiovinimas	0-400	0-400	0
Rišančios medžiagos, priedai	0-10	0-10	0-10
Granuliavimas	30-60	30-60	30-60
Aušinimas	5	5	5
Papildoma įranga	10-20	10-20	10-20
Viso	55-515	55-535	55-125

Kitas patogus energijos sunaudojimo vertinimo būdas yra santykio tarp sunaudojamos energijos ir granuliu šiluminės vertės nustatymas. Žemiau esančioje lentelėje pateikiamos pagrindinių granuliu gamybos procesų santykinų energijos po-

reikių vertės.

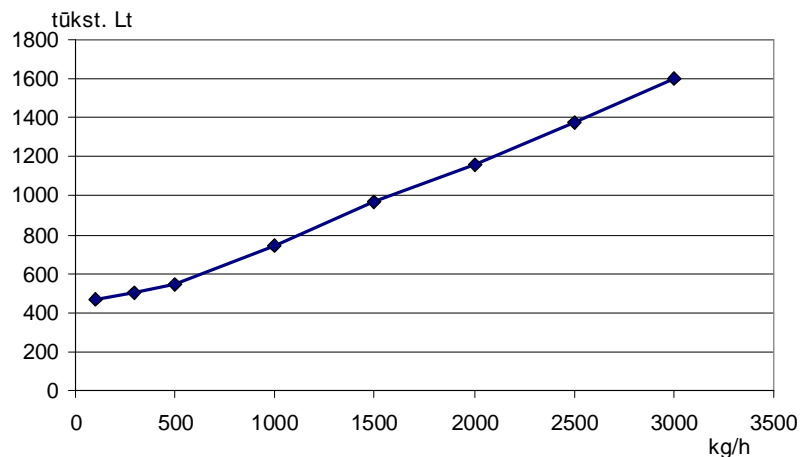
Lentelė 11. Granulių gamybos procesuose sunaudojamos energijos dalis lyginant su granulių šilumine verte

Procesas	Energijos forma	Pjuvenos		Skiedra		Šiaudai	
		En. kWh/t	En.%	En. kWh/t	En.%	En. kWh/t	En.%
Smulkinimas	Elektra	10	1%	20	1%	10	1%
Džiovinimas	Elektra (10%) Šiluma (90%)	400	9%	400	9%	-	-
Granuliavimas	Elektra	40	3%	40	3%	40	3%
Kita	Elektra	30	2%	30	2%	30	2%
Viso		480	15%	490	15%	80	6%

Gamybos kaštai

Iš atliktų studijų matyti, kad šiaudų granulių gamybos kaštai yra panašūs arba pilnai atitinka medienos granulių kaštus. Didžiausias skirtumas susidaro dėl gamybai naudojamos žaliavos kainų svyravimo. Kitas svarbus faktorius įtakojantis galutinę granulių kainą yra drėgmės kiekis naudojamoje žaliavoje, nurodantis ar džiovinimo procesas yra būtinas, ar jį galima aplenkti.

Investicijos į granulių gamybos liniją priklauso nuo planuojamo našumo.



11 pav. Investicijų poreikio priklausomybė nuo našumo [16]

Šiaudų granulių gamybos kaštai buvo paskaičiuoti remiantis šiomis prielaidomis [6]:

- Žaliavos kaina (šiaudų ritiniai ir ryšuliai) – 86 – 173 Lt/t;
- Granulių gamybos įrangos eksploatacijos kaštai – 69 – 104 Lt/t;
- Kapitalinių kaštų ir pridėtinių išlaidų dedamosios.

Gauti granulių gamybos kaštai pateikti Lentelė 12.

Lentelė 12. Granulių gamybos kaštai [1,6]

Gamybos kaštai LTL/t		Minimalūs	Maksimalūs
Medienos granulės	Sausa žaliava	176	280
	Drėgna žaliava	273	349
Šiaudų granulės		324	566

Kaip buvo pristatyta ankstesniame skyrelyje, šiaudų žaliavos rinka Lietuvoje kol kas nėra susiformavus. Iš atlikto supresuotų šiaudų ryšulių gamybos galimybių skaičiavimo paaiškėjo, kad kaina, kuriai esant šiaudų presavimo veikla atsipirktų, siekia vidutiniškai 137 LTL/t (kai vienos tonos palaidų šiaudų kaina lauke 105 Lt).

1.3.3 Šiaudų briketai

Šiaudų briketų gamyba yra panaši į jau aptartą granulių gamybą, bet yra paprasčiau bei kelia mažesnius reikalavimus naudojamoms žaliavoms paruošimui. Kita vertus briketų realizavimo rinka didžiaja dalimi apima tik individualių pastatų šildymą, kuriuose nėra naudojamoms automatinės kuro padavimo sistemos, todėl žvelgiant iš kuro realizavimo rinkos pozicijų, briketai yra laikomi daugiau vietinio naudojimo kuru.

Reikalavimai briketavimo žaliavai

Pagrindiniai parametrai, kuriuos turi tenkinti briketavimui naudotina žaliava, yra pateikti Lentelė 13.

Lentelė 13. Reikalavimai keliami briketavimo žaliavai

Pavadinimas	Parametro svyravimo ribos
Žaliava	Šiaudai (geriausiai „pilki“), šienas ir jo mišiniai
Drėgmė	15 – 30%
Temperatūra	+5 – 30°C

Skirtingai nuo granuliavimo, reikalavimai briketuojamų šiaudų drėgmei nėra tokie griežti, o tai savo ruožtu atsiliepia šiaudų sandėliavimo reikalavimams bei sąnaudoms. Taip pat yra minima, kad briketavimui gerai tinka „pilki“ šiaudai. „Pilkieji“ šiaudai gaunami palikus nupjautus šiaudus kuriam laikui lauke, kur juos tiesiogiai veikia krituliai ir jie papilkėja. Tokie šiaudai turi pranašumą prieš ką tik nupjautus bei surinktus šiaudus.

Pagrindinis privalumas yra tas, kad „pilkųjų“ šiaudų deginimas daro mažesnę poveikių katilo vidaus paviršių ir kamino korozijai. Plovimo metu iš šiaudų yra pašalinama dalis koroziją skatinančių medžiagų, tokių kaip chloras bei šarmai.

Taipogi buvo nagrinėjamas dirbtinio šiaudų plovimo metodas ir gauti rezultatai rodo, kad ekonomiškiausia šiaudus plauti 50 – 60°C temperatūroje [9]. Energijos sąnaudos patiriamos šiaudų plovimo, džiovavimo bei organinių medžiagų šalinimo procesuose sudaro 8 % nuo šiaudų kuro naudojamos žemutinės šiluminės vertės. Įvertinus katilų eksploatacijos laiko pratęsimą patiriami energijos nuostoliai atsiperka. Kitas privalumas, kurį turi „pilkieji“ šiaudai yra tas, kad pelenai, kuriuose nėra šarminių druskų ir kitų priemaišų, gali būti panaudoti kaip užpildai statybinių medžiagų gamyboje. Taip gaunama nauda iš šalutinio šilumos gamybos produkto ir išvengiama galima pelenų utilizavimo problema.

Žaliavos smulkinimas

Kaip ir granulių gamybai šiaudai turi būti susmulkinti. Susmulkintų dalelių frakciją turi sudaryti 2 – 3 cm ilgio šiaudai. Smulkinimas vykdomas smulkintuvais, kurie gali smulkinti tiek šiaudų ritinius, tiek palaidus šiaudus. Atitinkamai šiaudų pakrovimas gali būti vykdomas rankiniu būdu arba automatizuotai.

Briketavimas

Šiaudų briketavimo procesas palyginti su granuliavimu yra kur kas paprastesnis. Susmulkinti šiaudai patenka į presą, kuriame vyksta šiaudų suspaudimas. Pagamintas briketas išstumiamas iš preso ir supjaustomas į reikiamo ilgio cilindrus. Biokuro briketai formuojami iš šiaudų ir žolinių augalų žaliavos. Briketavimo procese nereikia naudoti **jokių rišančiųjų medžiagų**.

Žaliavos sutankinimo technologijos pagal veikimo sąlygas gali būti suskirstytos į dvi kategorijas:

- ū Aukšto slėgio ir temperatūros sutankinimas;
- ū Žemo slėgio ir temperatūros sutankinimas.

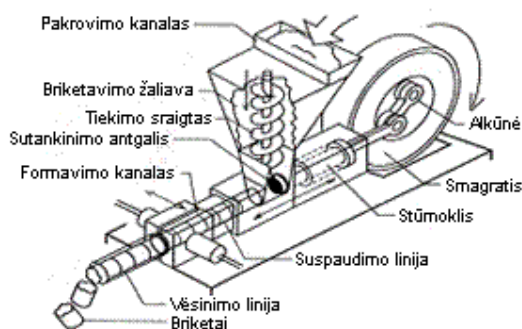
Pagal suspaudimo principą sutankinimo technologijos dar papildomai gali būti skiriamos į nenuolatinio arba nuolatinio sutankinimo.

Plačiausiai naudojama yra aukšto slėgio ir temperatūros sutankinimo technologija. Priklausomai nuo naudojamos technologijos, t.y. įrangos tipo, galima išskirti šias kategorijas:

- ū Sutankinimas naudojant hidraulinį presą;
- ū Sutankinimas naudojant stūmoklinį presą;
- ū Sutankinimas naudojant sraigtinį presą;
- ū Sutankinimas vykdant granuliavimą, pastarasis buvo detaliai aptartas prieš tai buvusiam skyriuje.

Hidrauliniai presai dažniausiai naudojami esant mažam našumui. Rinkoje siūlomų preso darbo ribos siekia nuo 50 iki 150 - 300 kg/h našumą. Tuo tarpu didesnėms apimtims gaminti pasitelkiami mechaniniai presai.

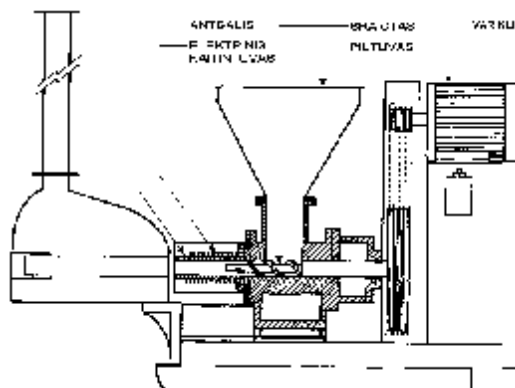
Principinė stūmoklinio preso schema pateikta 12 pav.



12 pav. Stūmoklinio preso schema [11]

Stūmokliniai presai yra vieni populiariausių. Presas veikia nenuolatinio suspaudimo režimu. Briketavimo žaliava yra tiekama į cilindrą, kuriame stūmokliu yra suslegiama į švelniai siaurėjantį antgalį. Suspausta medžiaga stumiami antgaliu dėl veikiamų trinties jėgų įkaista. Dėl padidėjusios temperatūros pradeda reikštis lignino kaip rišančiosios medžiagos savybės, kurios „suklijuoja“ medžiagą. Išspaustas briketas yra atvėšinamas ir supjaustomas į pageidaujamo ilgio cilindrus. Stūmoklinio preso darbo našumas gali būti iki 1800 kg/h.

Kitas medžiagos suspaudimo principas naudojamas sraigtiniame prese. Tokio preso schema pavaizduota 13 pav.



13 pav. Sraigtinio preso schema [11]

Sraigtinio preso veikimo principas yra analogiškas, skiriasi tik suspaudimo procesui naudojama technologija. Suspaudimo procesas, skirtingai nuo stūmoklinio preso, vyksta nuolatos. Briketavimo žaliava yra tiekiamą į spaudimo sraigą, kuris suslegia ir stumia medžiagą cilindrinu antgaliu. Tam, kad cilindre esanti suspausta medžiaga nepersisuktų antgalyje montuojamos nukreipiamosios juostos, maišančios žaliavos sukimuisi cilindre. Prie antgalio dažnai montuojamas papildomas elektrinis kaitintuvas, tam atvejui, jeigu suspaudimo metu pakilusios temperatūros nepakanka lignino rišančiosioms savybėms suaktyvinti.

Nuolatos gaminamas briketo cilindras atvėsina ir supjaustomas į norimo ilgio gabalus. Kaip parodyta žemiau esančiame paveiksle, briketo viduje išilgai jo ašiai yra tuščia ertmė, kuri padidina briketo deginimo kokybę (užtikrinama oro cirkuliacija).



14 pav. Šiaudų briketai

Naudojant sraigtinį presą gali būti pagaminami tankesni briketai negu naudojant stūmoklinę briketavimo sistemą. Sraigtinių presų darbo našumas siekia 75 – 250 kg/h. Taipogi rinkoje siūlomos ir didesnio našumo mašinos.

Pagrindinės šiaudų briketų kuro charakteristikos pateiktos Lentelė 14.

Lentelė 14. Šiaudų briketų kuro charakteristikos

	Šiaudų briketai
Naudojamoji žemutinė šiluminė vertė, MJ/kg	14,5
Tankis, kg/m ³	400
Drėgmė, %	~ 15
Peleningumas, %	2 – 4

Briketavimo įrenginių palyginimas

Stūmoklinis ir sraigtinis briketavimo presų palyginimas pateiktas žemiau esančioje lentelėje.

Lentelė 15. Stūmoklinio ir sraigtinio presų palyginimas[13]

	Stūmoklinis presas	Sraigtinis presas
Kontaktinių dalių susidėvėjimas	žemas	didelis
Gamybos eiga	su pertrūkiais	nuolatinė
Elektros vartojimas	50 kWh/t	60 kWh/t
Briketų tankis	400 kg/m ³	iki 600 kg/m ³
Eksploatacijos sąnaudos	aukštos	žemos
Degimo kokybė	ne tokia gera	labai gera
Karbonizacija ²	negalima	galima
Briketų homogeniškumas	ne homogeniški	homogeniški

² Karbonizacija yra procesas, kuomet į biokuro žaliavą (tame tarpe ir žemės ūkio atliekas) yra papildomai įmaišoma anglis. Tokiu būdu gaunami aukštesnės šiluminės vertės briketai.

1.3.4 Granulių ir briketų standartai

Lietuvoje, kaip didžiojoje dalyje Europos sąjungos šalių nėra, įstatymų ar kitokių teisės aktų reglamentuojančių konkrečiai granulių ir briketų gamybos standartus. Tikrai keletas Europos sąjungos šalių turi pasitvirtinusios oficialius standartus, tai - Austrija, Švedija ir Vokietija.

Kitos šalys, tame tarpe ir tokios, kuriose yra gerai išvystytos granulių kuro rinkos - Danija ir Suomija, nusprendė palaukti, kol įsigalios bendri Europos sąjungos standartai.

Austrijoje galiojantys standartai ÖNORM M1735 reglamentuoja tiek granulių, tiek briketų gamybą. Švedijos standartas SS 187120 skirtas granulių kokybės reglamentavimui, kai tuo tarpu standartas SS 187121 aprašo briketų kokybės reikalavimus. Vokietijoje galiojantis standartas DIN 51731 kaip ir Austrijoje nusako reikalavimus granulėms ir briketams.

Pasiūlymai bendram Europos sąjungos šalių standartui pateikti atliktoje ataskaitoje CEN/TC 14961, o konkrečiai Priede A (*angl.: "CEN/TS 14961 "Annex A" Examples of specifications for high quality classes of solid bio-fuels recommended for household usage"*).

Pagrindiniai parametrai, kuriuos reglamentuoja išvardinti standartai, yra:

1. Granulių (briketų) dydis. Šis parametras tiesiogiai įtakoja kuro transportavimo išlaidas bei deginimo įrangos parinkimą. Vienodo dydžio granulių (briketų) naudojimas įgalima geresnį degimo proceso valdymą, t.y. efektyviau deginamas kuras. Austrijoje granulių dydžio parametrai svyruoja ribose $\varnothing 4 - 20$, maksimalus ilgis 100 mm. ES siūlomose standartuose numatyti du granulių tipai: $\varnothing 6 \text{ mm} (\pm 0,5 \text{ mm})$, ilgis $< 5 \times \varnothing$; $\varnothing 8 \text{ mm} (\pm 0,5 \text{ mm})$, ilgis $< 4 \times \varnothing$.
2. Granulių (briketų) piltinis tankis. Jeigu kuro piltinis tankis yra santykinai žemas, tai sąlygoja didesnes transportavimo bei tuo pačiu saugojimo išlaidas. Švedijos normose šis parametras svyruoja tarp 500 – 600 kg/m³. CEN rekomendacijoje parametro reikšmė neapibrėžta.
3. Granulių (briketų) frakcijos dalis % < 3 mm. Šis parametras parodo kokia dalis granulių yra suirusi. CEN siūlomos dvi kategorijos, kai suirusių dalelių kiekis neviršija 1 % ir 2 %.
4. Granulės (briketo) tankis. Atskiros dalelės (granulės) tankis turėtų būti nuo 1 iki 1,4 g/cm³.
5. Drėgnumas. Šis parametras turi tiesioginę įtaką granulių šiluminei vertei ir degimo proceso efektyvumui. Europos sąjungos standartuose granulėms leistinas drėgmės kiekis turi būti ne didesnis kaip 10%. Kai kitų šalių norminiuose aktuose šis parametras siekia iki 12 %.

6. Šiluminė vertė. CEN ataskaitoje rekomenduotina naudoti 16,9 MJ/kg arba 4,7 kWh/kg šiluminę vertę medienos granulėms.
7. Atskirų cheminių elementų kiekiai. Granulėse ir briketuose yra ribojami neigiamą poveikį aplinkai darančių cheminių elementų kiekiai. Prie tokių elementų priskiriama siera, azotas, chloras, arsenas, kadis, chromas, varis, gyvsidabris, švinas, cinkas bei eksrahuojami organiniai halogenų junginiai (EOX).
8. Suirusių granulių (briketų) dalis pristačius vartotojui. ES rekomendacijose šio parametro vertė neapibrėžiama. Vokietijos ir Austrijos standartuose šis parametras neturi viršyti 1 %.
9. Priedai. Rekomenduojama, kad priedai negali sudaryti daugiau kaip 2 % kuro sausos masės. Reikalaujama, kad naudojami priedai nebūtų chemiškai apdoroti.
10. Pelenų lydimosi temperatūra ir patvarumas.

Svarbu paminėti, kad aukščiau pateikti kokybės vertinimo reikalavimai didžiaja dalimi taikomi granulėms ir briketams pagamintiems iš medienos. Įvertinant tai, kad iš šiaudų pagaminamas kuras ateityje konkuruos su medienos kuru, tai ir kokybės reikalavimai privalės būti kaip įmanoma labiau unifikuoti.

1.4 Šiaudų kuro deginimo aplinkosauginiai aspektai

Biomosės degimas yra sudėtingas procesas susidedantis iš keleto nuosekliai vienas paskui kitą einančių etapų: drėgmės garavimas, kaitimas, gazifikacija, anglies degimas ir dujinės fazės oksidacija. Kiekvienam etapui reikalingas laiko tarpas priklauso nuo kuro savybių, temperatūros ir degimo sąlygų. Pirmosios fazės metu iš kuro išgaruoja buvusi drėgmė. Gazifikacijos metu išsiskiria lakiosios degiosios medžiagos. Tarp emisijų visada bus sutinkama anglies monoksido (CO), vandenilio (H₂), metano (CH₄) ir kitų angliavandenių. Išsiskyrusios lakiosios medžiagos sudega. Jeigu yra tiekiamas pakankamas deguonies kiekis, dujos pilnai sudega pagamindamos likutinius produktus - anglies dvideginį (CO₂) ir vandenį. Jeigu į kūryklą tiekiamas nepakankamas deguonies kiekis dalis degių medžiagų nesudega arba sudega nepilnai. Šiuo atveju degimo produktuose galima aptikti anglies viendeginio (CO), suodžių, dervų ir nesudegusių angliavandenių. Pagaliau vyksta anglies degimas. Pasibaigus biomasės degimo procesui lieka pelenai sudaryti iš nedegusių neorganinių medžiagų.

Deginant biomasę galima išskirti tris susidarančių teršalų grupes:

- Teršalai dėl nepilno kuro sudegimo: anglies monoksidas (CO), nesudegę angliavandeniliai, policikliniai aromatiniai angliavandeniliai (PAH), derva, suodžiai, vandenilis (H₂), HCN, NH₃ ir azoto oksidai (N₂O).
- Teršalai susidarę po pilno kuro sudegimo, t.y. azoto oksidai (NO_x) ir anglies dvideginis (CO₂).

- Pelenai ir kiti teršalai.

Aukšta degimo proceso kokybė, kuomet kuras yra pilnai sudeginamas, labai svarbi sąlyga norint pasiekti žemą susidarančių teršalų lygį. Degimo proceso efektyvumas priklauso nuo degimo kameros temperatūros, degių dujų ir oro susimaišymo lygio, degimo kameroje trukmės ir tiekiamo deguonies kiekio. Šias sąlygas savo ruožtu veikia tokie veiksniai kaip naudojama deginimo technologija, degimo proceso suderinimas parenkant optimalų oro pertekliaus koeficientą, įrenginių veikimo režimas (pilnu pajėgumu ar dalinai apkrautas) ir pagaliau nuo pačių naudojamo kuro savybių (forma, dydis, drėgmės kiekis ir pan.).

Dujinės teršalų emisijos

Deginant kurą, kurio sudėtyje yra azoto (N), sieros (S) ir chloro (Cl), gaunamos azoto oksidų (NO_x), sieros oksido (SO_2), chloro vandenilio (HCl) ir chloro angliavandenio teršalų emisijos. Papildomai chloras įtakoja dioksidų ir furanų formavimąsi. Taip pat gali susiformuoti teršalų emisijos dėl nepilno kuro sudegimo.

Žemiau esančioje lentelėje, pateikti duomenys apie azoto ir sieros oksidų bei chloro vandenilio emisijas deginant medienos skiedras, šiaudus ir bendrai visus energetinius augalus.

Lentelė 16. Medienos ir šiaudų emisijos

	Medienos skiedra	Šiaudai	Energetiniai augalai
Kiekis kure (mg/kg)			
Azotas (N)	670	1750	13500
Siera (S)	40	470	970
Chloras (Cl)	44	1400	3000
Emisijos (mg/n.m^3)			
NO_x	140	260	250
SO_x	10	100	145
HCl	0,6	36	78

Iš pateiktų duomenų patyti, kad yra tiesioginė priklausomybė nuo kure esančių elementų kiekio ir degimo produktuose aptinkamų emisijų.

Europos sąjungoje galiojantys reikalavimai teršalų emisijoms pateikti Lentelė 17.

Lentelė 17. Teršalų emisijų reikalavimai Europos Sąjungoje (pagal direktyvą 2001/80/EB)

Emisijos (mg/n.m ³)	50 – 100 MW	100 – 300 MW	> 300 MW
NO _x	400	300	200
SO _x	200	200	200

Svarbu paminėti, kad dėl sąlyginai mažo duomenų kiekio apie sutankintų šiaudų deginimo emisijas, Lentelė 16 pateikti duomenys atitinka nesupresuotų šiaudų deginimą. Iš atliktų palyginimų matyti, kad šiaudų kuras generuoja daugiau teršalų negu medienos kuras, tačiau lyginant šiaudų kurą su iškastinio tipo kuru, paaiškėja šiaudų naudojimo privalumai.

Lentelė 18. Šiaudų ir žibalo emisijų palyginimas [12]

		Žibalas	Šiaudai	Žibalas	Šiaudai
Šilumos poreikis	GJ	16200	16200	1 MJ	1 MJ
CO ₂	t/metus	1215	1604	75000 mg	99000 mg
SO ₂	t/metus	8,1	2,1	500 mg	130 mg
Dulkės	t/metus	0,97	0,32	60 mg	20 mg
NO _x	t/metus	2,4	2,4	148 mg	148 mg

1.5 Šiaudų ir žolinių augalų kuro deginimo technologijų apžvalga

Biokuro deginimui naudojami įrenginiai gali būti suskirstyti į atskiras grupes pagal reikalaujamą išvystyti galingumą. Mažiausios galios intervale nuo 1 iki 10 kW dažniausiai sutinkamos krosnys ir židiniai, kuriuose kuro padavimas gali būti tiek automatizuotas (granulės), tiek rankinis (briketai). Tuo tarpu didžiausios galios įrenginiai naudojami jėgainėse, jų galingumas dažnai būna didesnis nei 5 MW. Likę vidutinės galios katilai naudojami individualių ir daugiabučių namų apšiltinimui, taip pat centralizuotos šilumos tiekimo sistemose.

Vidutinės ir didelės galios segmentuose naudojamos biokuro deginimo technologijos yra: deginimas su ardynine pakura ir deginimas verdančio sluoksnio katiluose.

Biokuro deginimas katiluose su ardynine pakura

Virš katilo pakuros esanti erdvė vadinama antrine degimo kamera. Žiotys tarp katilo ir antrinės degimo kameros pagerina sūkuriu formavimąsi išmetamosiose dujose tam, kad išmetamosios dujos ir antrinis oras būtų veiksmingai sumaišomi ir pasiekiamas visiškas kuro sudegimas.

Į ardyninę pakurą biokuras dažniausiai patenka automatiškai veikiamas gravitacijos jėgų. Biokuro masei judant ardynu pradiniam etape vyksta kuro džiūvimas, vėliau seka užsidegimas, degimas ir atvėsimas, kuomet iš pakuros yra šalinami pelenai. Pakurose gali būti naudojami judantys arba stacionarūs ardynai. Priklausomai nuo gamintojo, ardyną gali sudaryti skirtingi ardelių skyriai: džiovinimo arduliai, degimo arduliai ir sudegimo arduliai. Tarp atskirų ardelių skyrių sumontuojami laipteliai leidžiantys atskirti džiovinimo metu atskirtas nedegias kuro priemaišas.

Pirminis oro padavimas yra organizuojamas po ardynu, dažnai jis papildomai sekcionuojamas atskiroms degimo proceso stadijoms. Reikalingas oro kiekis per groteles ir kuro sluoksnį tiekiamas į degimo kamerą. Tiekiamas oro srautas pakeliui atlieka grotelių aušinimo funkciją.

Ardyninio tipo pakuros reikalauja palyginti intensyvaus antrinio oro padavimo. Į katilą antrinis oras yra tiekiamas ardyno gale arba katilo pirmojo dūmtakio pradžioje. Dideliu greičiu tiekiamas antrinio oro srautas užtikrina gerą deguonies ir lakiųjų medžiagų susimaišymą. Degimo temperatūra ardyninėse pakurose svyruoja nuo 900 – 1100°C.

Tokio tipo kūryklose galima naudoti įvairių kietą kurą. Iš biokuro galima paminėti medienos skiedras (čipsus), medienos granules bei briketus. Kuras pagamintas iš žemės ūkio atliekų, toks kaip šiaudai, nėra visai tinkamas deginti ardyninėse pakurose. Šiauduose ir kituose žoliniuose augaluose yra kalio ir natrio junginių. Šios šarminės medžiagos degimo proceso metu jungiasi su silicio oksidu, kuomet dėl aukštos degimo temperatūros susiformuoja šlakas bei apsineša šilumos mainų paviršiai.

Pelenų šlako formavimasis yra išvengiamas jeigu degimo procesas vyksta žemesnėje temperatūroje. Šlakavimosi problema yra išvengiama naudojant verdančio sluoksnio pakuras.

Biokuro deginimas verdančio sluoksnio katiluose

Verdančio sluoksnio (*angl.: fluidised bed*) katiluose kuras yra tiekiamas į „verdantį“ granulinės medžiagos sluoksnį, dažniausiai smėlio. Verdantis sluoksnis gaunamas per paskirstymo plokštę pučiant dujas arba orą. Šiuo metu naudojami du verdančio sluoksnio technologijų tipai:

- Stacionaraus verdančio sluoksnio katilai (SFB)
- Cirkuliuojančio verdančio skysčio katilai (CFB)

Stacionaraus verdančio sluoksnio katiluose kuro dalelės juda nepalikdamos verdančio sluoksnio ribų, tuo tarpu cirkuliuojančio verdančio skysčio sistemoje kuro dalelių greitis yra didesnis, jos dažnai išstrunka iš verdančio sluoksnio, vėliau jos yra sugaudoamos ciklone ir gražinamos atgal į verdantį sluoksnį. Žemiau pateiktoje lentelėje pateikiami tipiniai SFB ir CFB katilų galių intervalai bei gaminamos šilumos parametrai.

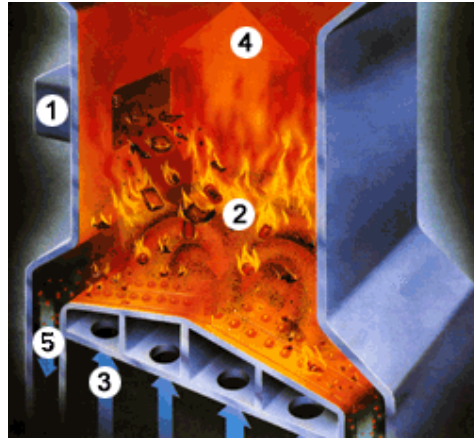
Lentelė 19 SFB ir CFB katilų tipų charakteristikos

Katilo tipas	Galios intervalas	Pasiekiamą garų temperatūra	Maksimalus slėgis
SFB	20 – 50 MW	+400°C	40 bar
CFB	> 50 MW	+470°C	65 bar

SFB katile temperatūrai pakilus virš 400 °C, prasideda korozija. CFB katiluose galimi didesni garų parametrai, palyginus su SFB, nes paskutinis perkaitintuvas yra sumontuotas kilpiniame tarpiklyje tarp ciklono ir katilo, o oras turi žymiai menkesnes korozines savybės negu galiniame dūmtakyje.

Stacionaraus verdančio sluoksnio katile degimas vyksta sluoksnyje, sudarytame iš inertinių medžiagų ir šlako. Sluoksnis, dėl kylančio degimui reikalingo oro srauto (11 pav. 3), palaikomas „verdančioje“ būsenoje. Degimas SFB vyksta tirštame apatiniame sluoksnyje, išskyrus smulkias kuro daleles, kurios dega dalelių suspensijoje virš sluoksnio. Intensyvaus kietųjų dalelių maišymosi dėka, degimas vyksta greitai ir tolygiai be susisluoksniavimo, o degimo temperatūra išlaikoma žemiau lygio, kuriame susidaro NO_x junginiai.

Degimas vyksta siaurame temperatūros intervale apie 950°C ir to pakanka, kad būtų palaikomas aukštas degimo efektyvumas. Taip pat svarbu paminėti, kad pasiekiamą degimo temperatūra yra mažesnė už pelenų lydimosi temperatūrą. Dėl šios sąlygos katilo šilumos mainų paviršiai yra apsaugoti nuo šlakų susiformavimo ir užsiteršimo.



15 pav. Stacionaraus verdančio sluoksnio sistema (SFB), kur: 1 – kuro piltuvas, 2 – „verdantis“ sluoksnis, 3 – oro padavimas, 4 – degimo produktai, 5 – pelenų pašalinimas

Sieros dioksido emisija taip pat sumažinta iki minimumo, kadangi šis temperatūros intervalas yra optimalus sieros absoravimo, kurį atlieka pelenų dalelės, atžvilgiu.

Cirkuliuojančio verdančio sluoksnio katile (CFB) degimas vyksta sluoksnyje, kurį sudaro inertinė sluoksnio medžiaga ir pelenai.



16 pav. Cirkuliuojančio verdančio sluoksnio sistema (CFB)

„Verdantis“ sluoksnis susideda iš dviejų dalių. Pirmoji, apatinė dalis yra tanki ir panaši į SFB. Joje dega didesnės kuro dalelės, kurių tiekiamo oro srautas neišstumia iš verdančio sluoksnio ribų. Antroji sluoksnio dalis yra ne tokia tanki, joje dega mažesnės kuro dalelytės, kurias suspenduotoje būsenoje palaiko tiekiamo oro srautas. Dalis dalelių gali būti išsinešama kartu su degimo produktais. Degimas CFB vyksta tiek tankiame apatiniame sluoksnyje, tiek mažiau tankiame viršutiniame sluoksnyje.

Sluoksnių temperatūra CFB sistemose svyruoja tarp 750 – 900 °C, o dėl didelės cirkuliuojančios medžiagos masės, temperatūra yra beveik vienoda visame katile.

Verdančio kuro sistemose galima deginti įvairų kurą bei jų mišinius. Dėl savitos deginimo technologijos „verdančio“ sluoksnių katiluose galima deginti aukštą pelenų kiekį turintį kurą, tame tarpe ir žemės ūkio atliekas. Dėl žemos degimo temperatūros išvengiama NO_x junginių susidarymas bei tuo pačiu nepasiekama pelenų lydymosi temperatūra.

2 Rekomendacijos dėl šiaudų kuro ruošimo ir panaudojimo technologijų tolimesnio taikymo šalyje

Šiaudų kuras yra ekologiškas atsinaujinantis vietinis kuras, kurio naudojimas šalyje turi būti skatinamas. Siūlomos tokios rekomendacijos orientuotos į šiaudų kuro naudojimo didinimą šalyje:

1. Platesnė informacijos sklaida šia tema, apimanti tiek „geros praktikos“ projektų detalų pristatymą, tiek galimų problemų susietų su šiaudų kuro ruošimu, sandėliavimu ir naudojimu identifikavimą. Informacijos sklaida turėtų būti orientuota tiek į biokuro naudotojus, tiek ir į šiaudų žaliavų tiekėjus – ūkininkus.
2. Atsižvelgiant į atliktą įvykdytų tyrimų analizę šioje srityje, pastebėta, kad jaučiamas viešai prieinamų neapibendrintų duomenų stygius apie šiaudus kūrenančias katilines, jų darbo režimus, teršalų emisijas ir pan. Rekomenduojama atlikti detalų veikiančių katilinių monitoringą.
3. Siekiant padidinti šiaudų kuro efektyvumą, reikia parinkti tinkamą šiaudų kuro tipą ir kuro naudojimo technologiją.

a) Šiaudų ritinių paruošimas reikalauja santykinai mažų investicijų, tačiau transportavimo ir saugojimo kaštai yra dideli. Šiaudų pervežimo ir pakrovimo darbų sąnaudos sudaro ~ 18 Lt/t, vidutinė palaidų šiaudų kaina lauke – 105 Lt/t. Tinka vietiniam naudojimui: degimo efektyvumas stipriai priklauso nuo drėgmės kiekio kure. Pagrindinis reikalavimas šiam kurui yra drėgmės kiekis. Rekomenduojamas lygis - 15 %. Presuotų šiaudų kuro gamybos sąnaudos siekia 137 Lt/t (įskaitant žaliavą).

b) Šiaudų ir žolinių augalų briketų gaminimas yra santykinai brangesnis, tačiau transportavimo ir sandėliavimo kaštai mažesni. Gali būti naudojamas individuliu pastatų šilumos poreikiams tenkinti arba automatizuotose (gaminami minkštesni briketai) šilumos gamybos sistemose. Ruošiant kurą, žaliavoms keliami reikalavimai: briketavimui gali būti naudojami šiaudai, šienas ir jo mišiniai; pageidautinas drėgmės lygis 15 – 30 %, esant didesniai drėgmės kiekiui būtinas papildomas žaliavos džiovinimas. Šiaudų kuro koroziniam poveikiui mažinti, žaliava gali būti

plaunama arba naudojami „pilki“ šiaudai. Minimalios gamybos sąnaudos, kai naudojama žaliavos drėgmė neviršija 15%, sudaro 286 Lt/t.

c) Šiaudų granulės gali būti naudojamos tiek vietoje, tiek eksportuojamos. Gerai tinka tiek individualiose sistemose, tiek didelėse automatizuoto kuro padavimo jėgainėse (katilinėse). Kaip ir kitų kuro tipų atveju, pagrindinis reikalavimas žaliavai yra drėgmės kiekis. Tam, kad šiaudus būtų galima granuluoti be papildomo džiovavimo, drėgmės kiekis žaliavoje neturi viršyti 20 %. Šiaudų granuliavimo proceso metu patiriamos sąnaudos siekia 324 – 566 Lt/t.

Lietuvoje, kur dar nėra susiformavusi biokuro (briketų ir granulių) vidaus rinka, tinkamiausia šiaudų kuro paruošimo technologija yra ritinių (ryšulių) presavimas ir deginimas.

4. Rekomenduojamas šiaudų žaliavos surinkimo spindulys – iki 60 km[16]. Sandėliavimo kaštai priklauso nuo pasirinkto būdo, maksimalūs – 33 Lt/t, kuomet statomas naujas anгарas ir minimalūs, kada šiaudų ritiniai saugomi laukuose, apsaugojus juos nuo drėgmės.
5. Žvelgiant į kuro gamybos sąnaudas matyti, kad kuras gaminamas iš šiaudų ir žolinių augalų reikalauja daugiau sąnaudų nei biokuras gaminamas iš medienos. Rekomenduojama, pirmoje eilėje, kaip galima labiau išnaudoti biokuro gamybos iš medienos galimybes.
Palyginimui pateikiamas kuro šiluminės vertės kainos skirtingoms kuro rūšims skaičiavimas: 1 GJ medienos granulių vidutinė gamybos savikaina lygi 13,0 Lt; 1 GJ šiaudų ritinio vidutinė savikaina 10,6 Lt; 1 GJ šiaudų briketų gamybos minimalios sąnaudos 19,7 Lt; gaminant šiaudų granules, 1 GJ energijos kaina 22,2 Lt.

3 Biokuro briketų iš susmulkintų šiaudų ir žolinių augalų galimybių ištyrimas ir įvertinimas

Kaip jau buvo pristatyta, kuro paruošimo technologijų apžvalgoje briketų gamyba tiek iš šiaudų, tiek iš žolinių augalų gali būti vykdoma hidrauliniuose, stūmokliniuose arba sraigtiniuose presuose.

Plačiau galima pristatyti žolinių augalų briketavimui keliamus reikalavimus.

Lietuvoje energetiniams augalams galima būtų auginti tradicinius žolinius augalus, tokius kaip daugiamečiai lubinai, beginklės dirsuolės, nendriniai eraičiniai, nendriniai dryžučiai ir t.t. Netradicinės žolinės kultūros, kurios galėtų būti naudojamos energetiniams tikslams, yra topinambai, saulėgrąžos, nendrės.

Žolinių augalų drėgnis, jų nuėmimo metu, siekia iki 50 – 80 %. Esant tokiam drėgmės lygiui prieš briketavimo procesą žaliava privalo būti išdžiovinta. Augalų džiovinimas gali būti vykdomas lauke, analogiškai šieno gamybai, kol pasiekiamas reikalingas 17 – 20 % drėgmės lygis. Energetinių augalų deginimo bandymų duomenys [5] pateikti žemiau esančioje lentelėje

Lentelė 20. Energetinių augalų degimo charakteristikos

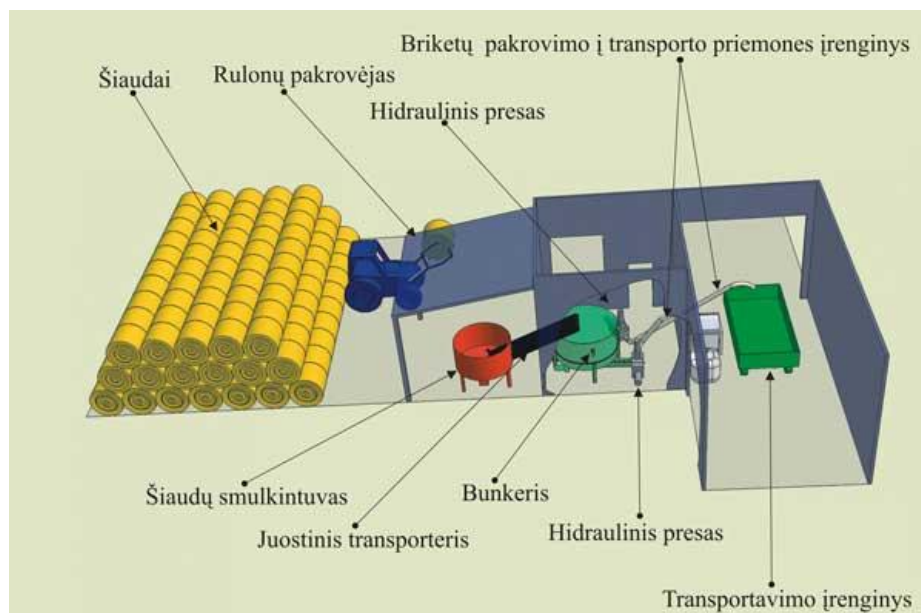
Pavadinimas	Drėgnis, %	Pelenai, %	Deginimo temperatūra, °C
Nendrinis eraičinas	9,2	8	750
Beginklės dirsuolės	9,5	10	740
Varpinės žolės su barkūnais	8,6	5	740
Nendrės	12,5	4	750
Topinambai	16,7	6	700
Saulėgrąžos	16,1	4	680

Kanapės	14,3	7	420
Kvietiniai šiaudai	12,5	6	730

Paruoštų energetinių augalų briketavimo procesas nesiskiria nuo apžvalgoje pateiktų šiaudų briketavimui keliamų reikalavimų. Išdžiovinti žoliniai augalai laukuose yra surenkami ir supresuojami į ritinius ar ryšulius.

Ritiniai gali būti iškart naudojami energetiniams tikslams deginant juos krosnyse analogiškai šiaudų ritiniams. Taipogi žolinių augalų ritiniai gali būti sutankinami gaminant briketus arba granules.

Kaip pavyzdys, žemiau esančiame paveiksle pateikiama šiaudų ir žolinių augalų



17 Šiaudų ir žolinių augalų briketavimo linija [5]

briketavimo linija (LŽŪU LŪI institutas).

Į sutankinimo vietą atgabenti šiaudų ir žolinių augalų ritiniai yra susmulkinami, iš kur juostiniu transporteriu tiekiami į bunkerį. Hidraulinis presas tiekiamą susmulkintą žaliavą suspaudžia. Briketų formavimui nereikalingi jokie papildomi rišikliai. Išspausti briketai aušinami ir paruošiami transportavimui.

Gaminami įvairių dydžių briketai, kurių skersmuo svyruoja nuo 20 iki 120 mm, o maksimalus ilgis siekia 400 mm. Tankis lygus 400 kg/m^3 , drėgmės kiekis briketuose sudaro apie 15 %. Šiluminė vertė, priklausomai nuo briketuojamų augalų, svyruoja tarp 8,6 iki 16,7 MJ/kg.

Investicijų poreikio vertinimas

Iš aukščiau pateiktos medžiagos matyti, kad briketų gamybos technologija naudojant žaliavai šiaudus ir smulkius žolinius augalus yra patikrinta ir naudojama, todėl belieka išsiaiškinti briketų kuro ekonominį konkurencingumą laipsnį. Aki-vaizdu, kad jeigu naudojant šį kurą pavyktų pagaminti pigesnę šilumą (ir elektrą), tokio kuro gamybos ir naudojimo rinka šalyje plėstųsi. Kita vertus, jaučiant medienos žaliavos pasiūlos stygių, šiaudai ir žoliniai augalai gali sėkmingai užpildyti susidariusį deficitą biomasės pasiūlos rinkoje.

Atlikus briketavimo įrangos gamintojų apklausą buvo nustatytas investicijų poreikis atskiriems briketavimo linijos įrengimams.

Kaip jau buvo minėta, briketavimo liniją sudaro šie pagrindiniai įrenginiai:

1. Šiaudų ir žolinių augalų smulkintuvas;
2. Briketavimo presas;
3. Kiti įrenginiai.

Šiaudų ir žolinių augalų smulkintuvai yra privalomi įrenginiai bet kokioje briketavimo linijoje. Priklausomai nuo našumo jie gali būti skirstomi į rankinio užkrovimo (iki 100 kg/h) ir automatizuotus. Pastarieji naudojami didelio našumo briketavimo linijose, kuomet smulkinami ne palaidi šiaudai (kaip tai daroma rankinio užkrovimo smulkintuvuose), o pakraunamas visas ryšulys arba ritinys. Didžiausio našumo linijose, kuriuose našumas viršija 900 kg/h, naudojami smulkintuvai su pakrovimo transporteriais.



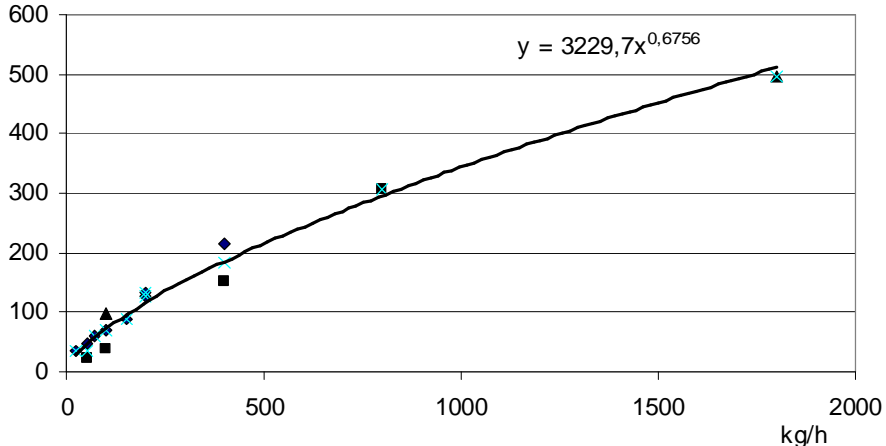
18 pav. Lietuvos rinkoje siūlomas šiaudų smulkintuvas su transporteriu [15]

Ant transporterio sukraunami keli žaliavos ritiniai ir paduodami į smulkintuvą. Orientacinės smulkintuvų kainos priklausomai nuo našumo yra:

- iki 100 kg/h (rankinis pakrovimas) ~ 6 000 Lt, galingumas 4 kW, energijos suvartojimas 1 MWh per 1 darbo valandą;
- mažų stačiakampių ryšulių smulkintuvas, kurio našumas iki 400 kg/h kainuoja apytiksliai 15 000 Lt, galingumas 5,5 kW;

- didžiausio našumo (iki 900 kg/h) smulkintuvai su pakrovimo transporteriu ir elektrine pavara kainuoja apie 73 000 Lt, galingumas 37 kW.

Briketavimo presų pasiūla rinkoje apima tiek naujus įrenginius, tiek ir jau naudotus. Pastarųjų kainos smarkiai svyruoja priklausomai nuo preso nusidėvėjimo lygio. Svarbu paminėti, kad gamintojai kaip galimą naudoti žaliavą nurodo šiaudus ir žolę, t.y. technologiškai nėra skirtumo kokia iš šių medžiagų bus naudojama.



19 pav. Briketavimo presų investicijų poreikio kreivė

ma technologiniame procese. Naujų įrenginių kainų pasiskirstymas priklausomai nuo našumo pateiktas žemiau esančiame paveiksle.

Apklausoje dalyvavo pagrindiniai briketavimo įrangos gamintojai, siūlantys įvairaus našumo įrenginius. Apibendrinus surinktus duomenis, gauta investicijų poreikio kreivė skirtingo našumo briketavimo presams.

Kita įranga, tai fasavimo įrenginiai skirti pagamintos produkcijos pakavimui.

Siekiant nustatyti šiaudų briketų kuro patrauklumą rinkoje yra apskaičiuota šiaudų briketų gamybos savikaina.

Finansiniame vertinime priimtos šios prielaidos:

- Briketavimo linijos našumas 400 kg/h; gamyba vyksta 7000 valandų per metus; metinis produkcijos kiekis sudaro 2800 t.; planuojamas vienas auto-pakrovėjas; žaliavos kaina su atvežimu 154 Lt/t (drėgmės kiekis 20%);
- Vidutinis brito darbo užmokestis pagal Lietuvos statistikos duomenis sudaro 1949,8 Lt (2007, III ketv.). Priimama, kad tiesiogiai su briketavimo linija dirbs 4 darbuotojai;
- Investicijos reikalingos lėšos yra skolinamos su 10 % metinėmis palūkanomis 5 metų terminui;

- Briketavimo linijoje veikiančių įrengimų elektros metinis suvartojimas sudaro 108 MWh. Elektros energijos kaina priimama lygi 30 ct/kWh;
- Vertinime nėra įtraukti kaštai dėl pastatų statybos (briketavimo linija įrengiama jau esamame pastate). Skaičiavime priimta, kad per nagrinėjamus 5 metus išteklių kainos išliks pastovios;

Atlikus finansinį vertinimą paaiškėjo, kad vidutinė per penkerius metus šiaudų ir žolinių augalų briketų gamybos savikaina siekia 232 Lt/t. Atsižvelgiant į tai, kad skaičiavime buvo naudotos investicijos, atitinkančios žemiausių kainų įrangos segmentą, gauta savikaina yra mažiausia. Augant žaliavos ir kitų išteklių kainai, blogėjant žaliavos kokybei (atsiradus žaliavos džiovavimo būtinybei), šiaudų briketų gamybos savikaina neišvengiamai kils.

Šiaudų granulių, briketų ir medienos granulių gamybos kaštai pateikti lentelėje žemiau.

Lentelė 21. Biokuro gamybos kaštų palyginimas[1,6]

Gamybos kaštai LTL/t	Minimalūs	Maksimalūs
Medienos granulės	176	349
Šiaudų granulės	324	566
Šiaudų briketai	232	nėra duomenų

Iš gautų rezultatų matyti, kad briketų iš šiaudų ir žolinių augalų gamyba yra pigesnė už granuliavimą, tačiau vis vien išlieka santykinai brangesnė už medžio granulių gamybą.

4 Rekomendacijos dėl biokuro briketų iš susmulkintų šiaudų ir žolinių augalų gamybos technologijos parinkimo ir gamybos

1. Įvertinus, kad Lietuvoje šiaudų kuro rinka tik pradeda vystytis, tikėtina, kad artimiausiu metu didelių pajėgumų gamybos poreikio nebus. Tai lemia tai, kad šiaudų žaliavos transportavimo kaštai riboja žaliavos surinkimo spindulį, pačios žaliavos kiekis.
2. Apžvelgiant biokuro briketams gaminti galimų naudoti žaliavų pasiūlą Lietuvoje, galima teigti, kad realiausias variantas yra šiaudų presavimas ir briketavimas. Žolinių augalų naudojamų energetiniams tikslams auginimas šalyje nėra paplitęs. Nepaisant to, technologiniai reikalavimai žolinių augalų ir šiaudų briketavimui nesiskiria, todėl naujos žaliavos įvedimas biokuro briketų gamyboje neturėtų iššaukti jokių techninių kliūčių.
3. Atlikus naudojamų šiaudų technologijų apžvalgą buvo nustatyta, kad naudojamos technologijos pasirinkimas bei jos veikimo efektyvumas priklauso nuo planuojamo našumo. Pagal našumą skiriami du našumo intervalai. Gamybos apimtims iki 150 – 300 kg/h rekomenduojama naudoti hidraulinius presus. Didesniam našumui siūloma rinkti mechaninius presus - stūmoklinius arba sraigtnius. Dėl mažesnių gabaritų ir geresnių techninių savybių šiuo metu rinkoje populiariausi sraigtniai mechaniniai presai.
4. Pagrindinės rekomendacijos dėl biokuro briketų gamybos organizavimo apima šiuos etapus:
 - 1) Biokuro briketų pasiūlos įvertinimas. Šiame žingsnyje reikėtų išanalizuoti šiaudų ir žolinių augalų pasiūlą regione. Žvalgymosi spindulys turėtų neviršyti ekonomiškai naudingo žaliavų transportavimo atstumo. Žaliavos drėgmės kiekis neturėtų viršyti 20 %. Priešingu atveju, parenkant briketavimo linijos įrenginius papildomai reikės parinkti ir džiovyklas. Žaliavos surinkimo spindulys neturėtų viršyti 60 km atstumo.
 - 2) Pagamintos produkcijos – briketų rinkos paklausos nustatymas.
 - 3) Briketavimo linijos našumo pasirinkimas. Dažniausiai būsimą bri-

ketavimo našumą apsprendžia ne paklausos lygis, o žaliavos pasiūla. Investicijų poreikis įrangos pirkimui pateiktas 3 skyriuje.

4) Sutarimų su žaliavos augintojais sudarymas dėl žaliavos tiekimo. Kaip jau buvo minėta, apsirūpinimas žaliavomis gali būti įgyvendintas perkant jas tiesiai iš ūkių arba nuomojantis laukus ir patiems surenkant šiaudus ir žolinius augalus.

5) Briketavimo linijos įrengimas arba paruošimas. Svarbu pabrėžti, kad įrenginėjant briketavimo liniją reikia teisingai nustatyti žaliavų sandėlio dydį. Atsižvelgiant į tai, kad šiaudų derlius nuimamas per trumpą laiką, susidaro dideli žaliavų kiekiai, kuriuos reikia apsaugoti nuo atmosferos poveikio. Tam tikslui būtina numatyti tokius sandėliavimo plotus arba logistinę sistemą, kad žaliava nesugestų (padidėja drėgmės kiekis, spartėja biodegradacija). Investicijų poreikis sandėliavimo plotų įrengimui pateiktas 1.3 skyriuje.

Briketavimo linijos dažniausiai yra gaminamos medienos briketų gamybai, todėl įdiegta linija turi būti papildomai derinama šiaudų ir žolinių augalų briketų gamybai, taip užtikrinant gaminamos produkcijos kokybę.

Reikalavimai briketavimo žaliavai ir pagamintų briketų charakteristikos pateiktos 4 skyriuje.

6) Pagamintos produkcijos realizavimas: individualių namų šildymas, centralizuoto šilumos tiekimo sistemos.

5 Išvados ir pasiūlymai

Šiaudai yra ekologiškas, atsinaujinantis, vietinis kuras, kurio ruošimas ir naudojimas Lietuvoje nėra plačiai paplitęs.

Metinis šiaudų kuro potencialas sudaro ~ 400 tūkst. t. Faktinių duomenų apie žolinių augalų potencialą nebuvo rasta.

Šiaudus ir žolinius augalus galima konvertuoti į biokurą juos sutankinant, taip sumažinant kuro sandėliavimo ir transportavimo sąnaudas.

Iš šiaudų gaminamas biokuras gali būti: supresuoti ritiniai ar ryšuliai, granulės ir briketai.

Granulių ir briketų gamybai keliami specialūs reikalavimai žaliavoje esančios drėgmės lygiui. Briketavimo atveju drėgmės kiekis žaliavoje negali viršyti 30% (rekomenduojamas lygis iki 20%).

Šiaudų briketavimui rišančiosios medžiagos nenaudojamos.

Šiaudų ir žolinių augalų kuras pasižymi aukštu šarminių junginių kiekiu, kurie degimo metu jungdamiesi su silicio oksidu formuoja šlakus bei užteršia šilumos mainų paviršius katiluose. Taip pat kure yra koroziją sukeliančių Cl junginių.

Šarminių junginių kiekiui mažinti gali būti naudojamos šiaudų plovimo procedūros arba kaip žaliavą naudojant „pilkuosius“ šiaudus.

Žemės ūkio atliekų deginimui tinkamiausia technologija - verdančio sluoksnio katilai. Dėl žemesnės už pelenų lydimosi degimo temperatūros išvengiama šlako formavimosi problema, taip pat nepasiekiami NO_x junginių formavimosi temperatūra.

Biokuro briketai yra patrauklus kuras individualių namų šilumos poreikiams dengti. Ypatingai tai teigtina apie nuosavas žaliavas turinčius ūkius.

Atlikus indikacinį finansinį vertinimą buvo nustatyta, kad minimalios šiaudų ir žolinių augalų briketavimo sąnaudos sudaro 232 Lt. Tai palyginti aukštos biokuro gamybos išlaidos gretinant jas su medienos žaliavos granuliavimu, tačiau atsižvelgiant į juntamą medienos stygių rinkoje bei nuolatos kylančias iškastinio kuro

importo kainas, tikėtina, kad artimiausiu metu biokuro gamyba iš šiaudų ir žolinių augalų taps finansiškai patrauklesnė.

Skatinant tolimesnę šiaudų ir žolinių augalų kuro ruošimo plėtrą Lietuvoje rekomenduojama paruošti šiaudų potencialo GIS žemėlapi, kurio dėka būtų galima greitai ir objektyviai identifikuoti šiaudų kuro potencialą teritorijoje. Numatyti kuro transportavimo atstumus iki sandėliavimo ar naudojimo vietų, planuojamus ir esamus pasėlių plotus.

Kaip papildomą savybę, šiaudų potencialo žemėlapis galėtų talpinti informaciją apie jau galiojančias šiaudų supirkimo sutartis, rinkos kainą, tiekėjo (ūkio) kontaktai ir pan. Ši priemonė išspręstų esamos šiaudų kainos rinkoje nustatymą, potencialiems investuotojams atsirastų galimybė objektyviai vertinti būsimus gamybos kaštus ir rizikas.

Orientacinės investicijos, kurios reikalingos įsisavinant esamą šiaudų kuro potencialą Lietuvoje pateiktos žemiau esančioje lentelėje.

Lentelė 22. Investicijų poreikis šiaudų potencialo įsisavinimui

Apskritis	Šiaudų potencialas, tūkst. t	Investicijos, mln. Lt Briketavimas*	Investicijos, mln. Lt Granuliavimas**
Alytaus	4	273 000 Lt	627 000 Lt
Kauno	89	6 074 000 Lt	13 949 000 Lt
Klaipėdos	6	410 000 Lt	940 000 Lt
Panevėžio	125	8 532 000 Lt	19 591 000 Lt
Šiaulių	158	10 784 000 Lt	24 763 000 Lt
Tauragės	3	205 000 Lt	470 000 Lt
Telšių	0	0 Lt	0 Lt
Utenos	0	0 Lt	0 Lt
Vilniaus	19	1 297 000 Lt	2 978 000 Lt
Viso	404	27 574 000 Lt	63 318 000 Lt

* investicijų poreikis briketavimui nustatytas darant prielaidą, kad bus instaliuojamos vidutinio galingumo briketavimo linijos (400 kg/h našumo);

** investicijų poreikis šiaudų granulių gamybai nustatytas darant prielaidą, kad bus instaliuojamos vidutinio galingumo granuliavimo linijos (500 kg/h). Jeigu bus instaliuojamos stambesnės šiaudų kuro ruošimo linijos, investicijų

poreikis mažės, atitinkamai, mažėjant linijų našumui - santykinis investicijų poreikis augs.

.

Literatūra:

1. Pastre, O. Analysis of the technical obstacles related to the production and utilization of fuel pellets made from agricultural residues// EUBIA Pellets for Europe ALTENER 2002-012-137-160.
2. Genutis, A. Šiaudų kuro vartojimas // Seminaro “Biomasė energijai gaminti” medžiaga. Lietuvos žemės ūkio universitetas, Žemės ūkio institutas. 2006 10 06 Kaunas. Gali būti rasta internete:
<http://balticbiomass.com>
3. Perkauskas, E. Justus Liebig Universitetas Giessene (Vokietija), LŽI
<http://www.manoukis.lt/index.php?s=905&m=1&z=42>
4. Vasen, N. N. Agri-pellets: Perspectives of pellets from agriculture residues. March 3 2005. Gali būti rastas internete:
http://www.pelletcentre.info/CMS/webedit/images/cmsdoc_19/%7Badf23d65-9360-4aad-8269-29b9447eb24d%7D_vasen.pdf
5. Jasinskas, A. Biomės auginimo, ruošimo ir naudojimo kurui technologijos ūkininkams ar smulkioms įmonėms. LŽUU, Žemės ūkio inžinerijos fakultetas. Raudondvaris, 2007. p. 47. Gali būti rastas internete:
http://www.undp.lt/sgp/download_file.php?id=105&PHPSESSID=3238bbdf62a2f6df67ecfec9cac52de6
6. Passalacqua, F., Zaetta, C., Rainer Janssen, R. and others. Pellets in southern Europe. THE state of art of pellets utilization southern Europe. New perspectives of pellets from agri-residues. 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy. Gali būti rastas internete:
http://www.eubia.org/uploads/media/2004_-_WBC2_-_Pellets_in_southern_Europe_The_state_of_the_art_of_pellets_utilisation....PDF
7. Pedišius, N., Vrubliauskas, S. Techninės biokuro deginimo Lietuvoje galimybės. Seminaro “Projektas “NETBIOCOF” medžiaga. LMI, LEI. Girionis, Kauno raj. 2007 gegužės 30 d. Gali būti rastas internete:
http://www.mi.lt/Netbiocof/4_Pedisius.pdf
8. Energetikos agentūra. Lietuvos atsinaujinantieji energetikos išteklių. Interneto svetainė: <http://www.avei.lt>
9. UAB „Ekostrategija“ internetinė svetainė: www.ekostrategija.lt
10. Dutta, A. Bio energy fore achieving MGDs. Studijų medžiaga. Assian Institut of technology, Kloang Luang, Thailand:
<http://www soi.wide.ad.jp/class/20070041/slides/03/1.html>

11. Ehab El Saeidy. Renewable Energy in Agriculture in Egypt Technological Fundamentals of Briquetting Cotton Stalks as a Biofuel. Gali būti rastas internete: <http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/el-saeidy-ehab-2004-07-09/HTML/chapter2.html>
12. Renovation of a small-scale heating plant at Narteikiai agricultural school, Pasvalys district, Lithuania. Gali būti rastas internete: <http://www.lei.lt/Opet/Projekts/narteikiai.htm>
13. Grover P.D., Mishra S.K. Biomass briquetting: technology and practices. Gali būti rastas internete: <http://www.rwedp.org/fd46.html>
14. Wood pellets in Europe – State of the art, technologies, activities, markets (2000). Asplan Viak, AEBIOM, FastBränslePannor, Lambelet Heizungssysteme, Technische Universität München, Umdasch AG, Whitfield Gmbh, UMBERA. Part of the Thermie B project.
15. UAB „Ekotechnologijos“. Gali būti rastas internete: <http://www.ekotech.lt/lt>
16. ACCENT. Report: Opportunities for Production of Wood Chips, Bio-briquettes, and Bio-pellets Gali būti rastas internete: <http://www.bsrec.bg/newsrec/accent/accent.htm>
17. Povilas Černeckis. Rajono infrastruktūra komunalinis ūkis ir aplinkosauga. Gali būti rastas internete: http://www.kretinga.lt/files/file/pletra_2007_2013/2007_3_1_RAJONO_INFRASTRUKTURA.doc