

K. Navickas, K. Venslauskas

BIOENERGIJOS PROJEKTŲ ENERGINIS VERTINIMAS

Akademija, 2015

TURINYS

Įvadas	3
1. Miško ir energetinių augalų plantacijų įrengimas	4
2. Biomasės ruošos energijos sąnaudos	7
3. Energijos sąnaudos biokuro gamybai	10
Literatūros sąrašas	12

IVADAS

Biomasė gali būti naudojama šilumos ir elektros energijos generavimui, kuro ir degalų gamybai. Biomasės naudojimas energijos gamybai yra vadinama bioenergetika. Mediena yra didžiausias ir seniausiai žmonių įsisavintas bioenergijos šaltinis. Pastaruoju metu pradėta eksploatuoti ir kitos organinės žaliavos energijai gauti – žemės ūkio ir miško, gyvenviečių ir pramonės atliekos, specialiai auginami energetiniai augalai. Žaliavų ir energijos rūšių įvairovė verčia kurti ir įsisavinti naujas bioenergijos technologijas, taikomas žaliavų auginimui, paruošimui, degalų ir kuro gamybai, energijos konversijai ir pan.

Biomasė yra labai universalus energijos šaltinis. Ją galima naudoti kietojo ir dujinio kuro bei degalų gamybai. Praktiškai iš bet kurios biomasės rūšies įmanoma pagaminti kietąjį ir dujinį kurą bei degalus, arba tiesiogiai naudoti šilumos ir elektros energijos gamybai. Jau įprastomis laikomos malkų, briketų ir granuliu gamybos technologijos iš miško ir medienos perdirbimo pramonės atliekų. Kuriamos ir diegiamos naujos technologijos kietąjį biokurą gaminti iš šiaudų ir energetinių augalų, gyvenviečių atliekų ir pan.

Studijuojant, kuriant ir diegiant bioenergijos technologijas yra svarbu ne tik jas gerai žinoti jų funkcijas, sandarą ir veikimo principus, bet ir mokėti šias technologijas vertinti ekonominiu, socialiniu, energetiniu ir aplinkosauginiu požiūriu. Šiame leidinyje skaitytojai susipažins su energijos mainais augaluose, augalų biomasės savybėmis, biokuro ir biodegalų gamybos technologijomis, energijos ir masės mainais, aplinkosauginio ir energetinio technologijų vertinimo metodikomis.

Šioje metodinėje priemonėje pateiktos augalų auginimo, biomasės ruošos, transportavimo ir biokuro gamybos energinių sąnaudų nustatymo metodikos. Ši metodinė medžiaga parengta remiantis literatūros sąraše nurodytus šaltiniais ir įvairių Lietuvos mokslo institucijų mokslininkų tyrimų rezultatais.

1. Energetinių augalų plantacijų įrengimas

Energijos gamybai gali būti naudojama įvairių rūšių biomasė: specialiai energetiniams tikslams auginami energetiniai augalai; medienos ruošos atliekos; kitiems tikslams naudotos biomasės atliekos.

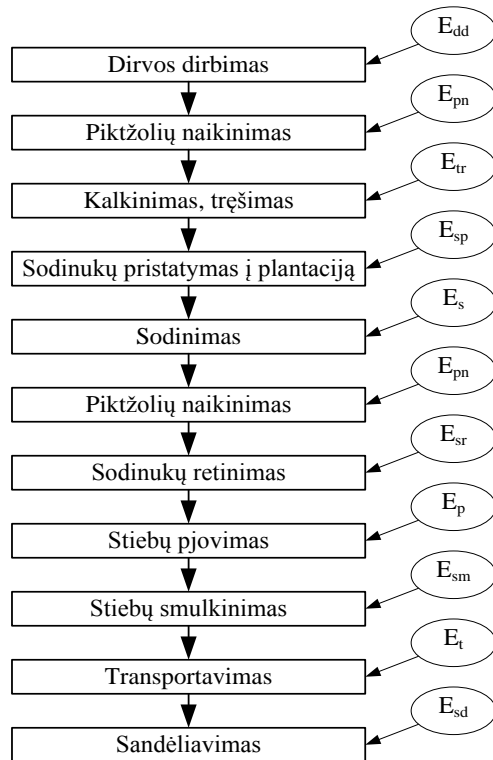
Greitai augančių medžių ir krūmų plantacijos bei energetiniai augalai plačiai naudojami energijos gamybai. Populiarios šios energetinių medžių rūšys: karklai, gluosniai, tuopos beržai, alksniai, drebulės. Auginant energetinę biomasę, patiriamos energijos sąnaudos, kurios įeina į bendrąjį energijos mainų ciklą. Žinant šias sąnaudas, galima nustatyti biomasės energinį efektyvumą. Skaičiuojant energetinių plantacijų įrengimo ir jose auginamos biomasės energines sąnaudas, reikia žinoti kokios yra atliekamos technologinės operacijos, kokie technologiniai įrenginiai naudojami, kokia jų galia ir darbo trukmė. Be to reikia įvertinti ir netiesiogines energines sąnaudas, skirtas sėklai, trąšoms, chemikalams ir technologinių įrenginių gamybai.

Dėl skiedrų ir drožlių porėtumo ir didelės tūrinės apimtys, antrinio jų pervežimo metu yra sunku išnaudoti transportavimo priemonių krovinius pajėgumus. Ypač tai aktualu pervežant biokurą didesniais atstumais.

Dažniausiai sutinkamas supaprastintas augalinės biomasės užauginimo bei paruošimo tolimesniam jos naudojimui technologijų energetinis vertinimas. Skaičiuojant energijos sąnaudas šiuo metodu, neįvertinamos žmogaus darbo energijos sąnaudos gamybos operacijoms bei energijos sąnaudos, sunaudotos mašinų gamybai. Tačiau tokiu būdu gaunamas šiek tiek iškreiptas bendras energijos balanso lygties vaizdas, todėl yra svarbu (būtina) vertinant energijos sąnaudas analizuoti visą sistemą, t.y. tiesiogines ir netiesiogines energijos sąnaudas.

Galimos įvairios energetinių plantacijų įrengimo, auginimo ir biomasės paruošimo technologinės schemos. Dažniausiai pasitaiko technologijos, kurių metu energetinių augalų sodinukai užauginami sodininkystės ūkyje ir vėliau pristatomi į plantaciją. Greitai augančių medžių sodinukai ruošiami, supjaustant stiebus iki 15 – 20 cm ilgio. Parinktos plantacijos žemė išpurenama, suariama, akėjama, daromos vagos ir sodinami sodinukai. Vėliau sodinukai purškiami chemikalais ir tręšiami, dirva kalkinama, naikinamos piktžolės, retinami sodinukai. Po 3-4 metų po pasodinimo pjaunami pirmieji stiebai biokuro gamybai.

Paprastai greitai augančių medžių derlius nuimamas žiemą modifikuotais kukurūzų pjovimo kombainais, kai žemė yra sušalusi. Nuimant derlių, medžiai yra kertami ir gali būti smulkinami tiesiog bekertant. Kitu atveju, medžių stiebai gabenami į tarpinį sandėlį, kur yra paruošiami kurui. Kai mediena išvežama į atvirą vietą arba tarpinį sandėlį pavasarį, o susmulkinama į skiedras tik rudenį ar žiemą, tuomet yra paruošiamas aukštos kokybės biokuras. Stiebai gali būti smulkinami į skiedras iš karto pjaunant arba nupjauti stiebai suvežami į aikšteles natūraliam džiūvimui. Po metų išdžiūvę stiebai smulkinami į skiedras ir vežami į katilinę. Dažniausiai sutinkama 1.1 pav. pateikta energetinių augalų auginimo ir pirminio biomasės paruošimo technologinė schema.



1.1 pav. Energetinių augalų auginimo ir pirminio biomasės paruošimo technologinė schema.

Patogiau energijos sąnaudas apskaičiuoti ir vertinti santykiniais vienetais. Šiuo atveju galima nustatyti energijos sąnaudas (kJ, MJ) tenkančias galutinės produkcijos masės vienetui (kg, t) paruoštos per visą energetinės sistemos gyvavimo laikotarpį.

Bendroju atveju energetinių augalų plantacijoms įrengti, biomasei užauginti bei paruošti energijos sąnaudas E_a (MJ/t) išreiškiamos lygtimi:

$$E_a = \sum E_{at} + \sum E_{an} \quad (1.1)$$

čia: E_{at} – tiesioginės energijos sąnaudos biomasei užauginti bei paruošti (sunaudoti degalai, elektros energija, šiluma), MJ/t;

E_{an} – netiesioginės energijos sąnaudos biomasei užauginti bei paruošti (trąšos, herbicidai, sodinukai), MJ/t.

Nustatant bendrąsias (tiesiogines ir netiesiogines) energijos sąnaudas būtina išanalizuoti visas technologines operacijas, reikalingas užauginti ir paruošti biomasę, tinkamą biokuro gamybai ar tiesioginiam naudojimui (deginimui).

Energetinės plantacijos rotacijos trukmė siekia dešimt ir daugiau metų. Per visą plantacijos gyvavimo trukmę susidaro keletas biomasės derliaus nuėmimo ciklų. Derlingumas gali skirtis priklausomai nuo pjūties ciklo – pirmu ciklu ar vėlesniais nuimamas derlius. Biomasės, gautos per visą plantacijos gyvavimo trukmę, kiekis M (t) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$M = A \cdot \sum_{i=1}^n M_i \quad (1.2)$$

čia: M_i – vieno pjūties ciklo biomasės derlingumas, t/ha;

A – energetinės plantacijos plotas, ha;

n – pjūties ciklų skaičius, vnt.

Naudojant miško ar žemės ūkio techniką tiesioginės energijos sąnaudos E_{zt} (MJ/t) nustatomos pagal mašinos našumą N ir kuro sąnaudas G :

$$E_{zt} = \frac{G \cdot A \cdot k_k}{N \cdot M}, \quad (1.3)$$

čia: G – kuro sąnaudos technikos darbui, kg/h;
 N – mašinos našumas, ha/h;
 A – energetinės plantacijos plotas, ha;
 k_k – degalų energinis ekvivalentas, MJ/kg; $k_k = 42,7$ MJ/kg.

Pagal (1.3) lygtį galima apskaičiuoti žemės arimo, kultivavimo, sėjos, purškimo, tręšimo, derliaus nuėmimo ir smulkinimo bei kitų operacijų energijos sąnaudas.

Auginant energetinius trumpos rotacijos medžius, pirmaisiais plantacijų įrengimo metais yra svarbu tinkamai ir laiku kontroliuoti piktžolių plitimą ir augimą, nekontroliuojamas piktžolių augimas gali sumažinti energetinių medžių augimą iki 75 % arba net sunaikinti silpnesnius stiebus. Po pasodinimo plantacijose turi būti naudojami herbicidai, o kai kuriais atvejais trąšos ar kalkinimas.

Žinant įrenginio našumą N_{ir} tiesioginės energijos sąnaudos įrenginio darbui E_{ir} (MJ/t) apskaičiuojamos pagal lygtį:

$$E_{ir} = k_e \cdot \frac{P_{ir}}{N_{ir} \cdot \eta}, \quad (1.4)$$

čia: N_{ir} – įrenginio našumas, t/h;
 P_{ir} – įrenginio elektros variklio galia, kW;
 k_e – energetinių sąnaudų pervedimo koeficientas, MJ/kWh; $k_e = 3,6$ MJ/kWh;
 η – įrenginio naudingumo koeficientas.

Tiesioginės energijos sąnaudos transportui E_t (MJ/t):

$$E_t = \frac{\gamma_t \cdot \beta \cdot L_t}{M}, \quad (1.5)$$

čia: γ_t – tiesioginių energijos sąnaudų transportavimui energinis ekvivalentas, MJ/t·km;
 β – vienu reisų pervežamos produkcijos masė, t;
 L_t – transportavimo atstumas, km.

Netiesioginės energijos sąnaudos trąšoms bei kitiems chemikalams E_{tr} (MJ/t):

$$E_{tr} = \frac{\gamma \cdot D \cdot A}{M}, \quad (1.6)$$

čia: E_{tr} – netiesioginės energijos sąnaudos naudojant trąšas bei kitus chemikalus, MJ/t;
 D – trąšų ar chemikalų įterpimo norma, kg/ha;
 γ – naudojamo preparato energinis ekvivalentas, MJ/kg.

Plačiausiai naudojamų trąšų ir chemikalų energiniai ekvivalentai pateikti 1.1 lentelėje.

1.1 lentelė. Trąšų ir chemikalų energinių ekvivalentų pavyzdžiai [16].

Preparato pavadinimas	Energinis ekvivalentas, MJ/kg
Amonio salietra	27,6
Dvigubas superfosfatas	6,4
Kalio chloridas	5,3
Pesticidai	205,2

Plantacijų sodinukų netiesioginės energijos sąnaudos E_{sod} (MJ/t):

$$E_{sod} = \frac{\gamma_s \cdot F_s \cdot A}{M}, \quad (1.7)$$

čia: E_{sod} – sodinukų netiesioginės energijos sąnaudos, MJ/t;

F_s – sodinukų sodinimo norma, vnt/ha;

γ_s – sodinukų energinis ekvivalentas, MJ/vnt.

Skaičiuojant galima taikyti tipinių mašinų ir įrenginių kuro sąnaudų ir našumų normas pagal pateiktas 1.2 ir 1.3 lentelėse.

1.2 lentelė. Traktorių degalų sąnaudos [10].

Mašinos rūšis	Kuro sąnaudos, kg/h
Traktorius (75AG)	14,2
Traktorius (150AG)	31,3
Traktorius (270AG)	52,0

1.3 lentelė. Technologinių operacijų našumai [3].

Operacijos pavadinimas	Našumas, ha/h
Trąšų barstymas	4,0
Purškimas	3,9
Žemės arimas	0,53
Kultivavimas	1,94
Sėja, sodinimas	3,63
Derliaus nuėmimas kombainu	1,2

2. Biomasės ruošos energijos sąnaudos

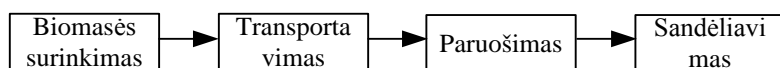
Mediena yra labiausiai naudojama biomasės rūšis energijos gamybai. Biokurui gali būti naudojama menkavertė malkinė mediena, medienos perdirbimo pramonės atliekos ir miško kirtimo atliekos. Vykdamt pagrindinius ir tarpinius miško kirtimo darbus susidaro daug atliekų. Didelę dalį smulkių stiebų, medžių viršūnių, kelmų, šakų, žievių ir pan. galima panaudoti kurui.

Daug atliekų susidaro medienos perdirbimo įmonėse (baldu, statybinių konstrukcijų, namų apyvokos daiktų ir pan.). Efektyviausia šias atliekas panaudoti medienos perdirbimo įmonėse, jas deginant vietoje ir panaudojant gamybos procese (džiovinant medieną, šildant patalpas ir kt.). Kitos katilinės kurą (pjuvenas bei skiedras) turi atsivežti iš toliau esančių žaliavų tiekėjų, todėl energijos sąnaudų atžvilgiu toks būdas yra mažiau efektyvus.

Biokuro žaliavos ruošai reikalingos energinės sąnaudos. Pirmiausia reikia biomasę iš jos susidarymo ar augimo vietų surinkti, apdoroti, sutankinti ir atvežti iki biomasės naudojimo vietos – katilinės ar biokuro gamybos įmonės. Visoms operacijoms reikalingos energijos sąnaudos, kurios turi būti įvertintos, atliekant sistemos energetinį balansą.

Vertinant energijos konversijos efektyvumą, taip pat reikia įtraukti ir biokuro naudojimo metu neišvengiamai susidarantias atliekas (nuobiras, dulkes), kurios kai kuriais atvejais gali būti ženklūs sistemos energetiniame balanse.

Biomasės ruošos sistemoje galimi šie gamybos srautai: biomasės surinkimas, transportavimas, paruošimas ir sandėliavimas (2.1 pav.).



2.1 pav. Energetinės biomasės paruošimo schema

Bendruoju atveju energijos sąnaudos paruoštos biomasės vienetui (šiuo atveju – 1 tonai) paruošti E (MJ/t) tolimesniam naudojimui apskaičiuojamos pagal lygtį:

$$E = \sum_{i=1}^i E_i, \quad (2.1)$$

čia: E_i – energijos sąnaudos technologinėms biomasės ruošos operacijoms, MJ/t;
 i – operacijų skaičius.

Energetinių plantacijų ar energetinių medžių paruošimo biokuro gamybai technologinės operacijos gali būti skirtingos priklausomai nuo to, kokia biomasė bus panaudota – žalia, džiovinta ar smulkinta. Tiesioginės energijos sąnaudos energetinių augalų paruošimui apskaičiuojamos susumuojant energijos sąnaudas atskiroms technologinėms operacijoms.

Ruošiant skiedras biokuro gamybai iš greitai augančių medžių pakanka vienos arba dviejų technologinių operacijų, kurių metu biomasė yra nupjaunama ir susmulkinama bei nugabenama iki sandėlio. Šiai operacijai gali būti naudojami kukurūzų pjovimo kombainai. Šiuo atveju naudojant miško ar žemės ūkio techniką tiesioginės skiedrų paruošimo energijos sąnaudos E_{sk} (MJ/t) išreiškiamos lygtimi:

$$E_{sk} = \frac{G \cdot k_k \cdot t}{M}, \quad (2.2)$$

čia: G – kuro sąnaudos technikos darbui, kg/h;
 M – paruoštos produkcijos kiekis per laiką t , t;
 t – laikotarpis, kuriam skaičiuojamos energijos sąnaudos, h;
 k_k – degalų energinis ekvivalentas, MJ/kg; $k_k = 42,7$ MJ/kg.

Gaminant medienos pjuvenų briketus ar medienos granules dažniausiai naudojamos pjuvenos iš medžio apdirbimo įmonių ar lentpjūvių. Briketai gaminami supresuojant susmulkintą medieną. Ruošiant pjuvenas briketų ar medienos granulių gamybai reikia pjuvenas surinkti jų susidarymo vietoje ir transportuoti iki briketavimo ar granuliavimo įmonės sandėlio. Šiuo atveju pjuvenų ruošos technologines operacijas sudaro pjuvenų pakrovimas į transporto priemones ir transportavimas. Transportavimo energijos sąnaudos E_t (MJ/t) priklauso nuo transporto priemonės keliamosios galios ir pervežimo atstumo:

$$E_t = \frac{\gamma_t \cdot \beta \cdot L_t}{M}, \quad (2.3)$$

čia: γ_t – tiesioginių energijos sąnaudų transportavimui energinis ekvivalentas, MJ/t·km;
 β – vienu reisų pervežamos produkcijos masė, t;
 L_t – transportavimo atstumas, km;

Dažnai tenka skaičiuoti energijos sąnaudas transportuojant produkciją skirtingu transportu. 2.1 lentelėje pateikti energiniai transportavimo ekvivalentai.

2.1 lentelė. Transporto energiniai ekvivalentai [16].

Transporto rūšis	Energetinis ekvivalentas, MJ/t·km
Oro transportas	8,7
Sunkvežimiai	1,8
Geležinkelis	0,6
Vandens transportas	0,3

Dažnai tenka pjuvenas ar kitą biomasę krauti į transporto priemones. Krovimo energijos sąnaudos E_{kr} (MJ/t) priklauso nuo krautuvo našumo:

$$E_{kr} = \frac{G \cdot k_k}{N_{kr}}, \quad (2.4)$$

čia: N_{kr} – krautuvo našumas, t/h;
 k_k – degalų energinis ekvivalentas, MJ/kg; $k_k = 42,7$ MJ/kg.

Nukirsti menkaverčiai medžiai, krūmai ar energetiniai augalai specialiomis ryšulių rišimo mašinomis surenkami ir surišami į ryšulius. Ryšuliai gali būti stačiakampiai arba apvalūs (2-3 metrų ilgio). Rišimo mašina ryšulius palieka tiesiog surišimo vietoje, o medvežė juos surenka ir išveža iki transporto priemonės arba tarpinio sandėliavimo vietos. Energijos sąnaudos ryšulių gamybai nustatomos $E_{ryš}$ (MJ/t) nustatomos taip:

$$E_{ryš} = \frac{G \cdot k_k}{N_{ryš}}, \quad (2.5)$$

čia: $N_{ryš}$ – ryšulių rišimo mašinos našumas, t/h.

Didelė dalis miško biomasės lieka po retinamojo kirtimo. Esant galimybei atliekos gali būti smulkinamos kirtimo vietoje, o susmulkintos skiedros konteneriais išvežamos tiesiai į katilinę. Medžių šakos ir viršūnės surenkamos, išvežamos sandėliavimui ir džiovimui.

Biomasės ruošos stacionarių technologinių įrenginių (transporteriai, krautuvai aikštelėse, sandėliuose ir pan.) su elektros pavaromis sunaudojamas energijos kiekis E_{ir} (MJ/t) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$E_{ir} = k_e \cdot \frac{P_v}{N_{ir}}, \quad (2.6)$$

čia: N_{ir} – įrenginio našumas, t/h.

3. Energijos sąnaudos biokuro gamybai

Energijos gamybai dažniausiai naudojamos šios kieto biokuro rūšys: malkos, skiedros, briketai, granulės, medžio anglis. Kiekvienai kietojo biokuro rūšiai yra savitos gamybos technologijos.

Malkų gamybos technologijoje paprastai reikalingos šios operacijos:

- rastų pjaustymas į kalades ir skaldymas,
- malkų transportavimas į sandėlį,
- malkų džiovinimas ir laikymas.

Rąstai dažniausiai pjaustomi rankomis (motoriniais pjūklais), o kaladės kapojamos kirviu. Mechanizuotu būdu malkos ruošiamos malkų pjovimo ir skaldymo mašinomis.

Skiedrų gamybai naudojama medžio atraižos, malkos arba medžių šakos, viršūnės. Miško kirtimo atliekos gali susidaryti atliekant pagrindinius ir tarpinius kirtimus. Kitu skiedrų gamybos žaliavų šaltiniu gali būti greitai augančių energetinių augalų plantacijų mediena. Ruošiant skiedras tiesiog kirtavietėje naudojamos mobilios medienos smulkinimo mašinos (dažniausiai agreguojamos su traktoriais). Gaminant skiedras iš surištų į ryšulius šakų, ar kitų medienos atliekų sandėliavimo vietoje, naudojami stacionarūs medienos smulkinimo įrenginiai.

Pjuvenų briketai gaminami supresuojant susmulkintą medieną. Smulkinimui gali būti taikomas pjaustymas, sutrynimasis ar kt. Briketai presuojami hidrauliniiais, rečiau sraigtiniais presais. Briketai gali būti cilindro arba stačiakampio formos. Briketavimu padidinamas biokuro tankis, sudaroma galimybė automatizuotai tiekti kurą į kūryklas.

Medienos granulėms gaminti naudojami žiediniai granulatoriai. Prieš granuliavimą, pjuvenos turi būti išdžiovinamos, atskiriami stambūs medienos gabalai, akmenys, metalo priemaišos. Dažniausiai granulės gaminamos pagal 1 pav. pateiktą schemą.

Medžio anglis gaunama kaitinant medieną beorėje aplinkoje aukštoje temperatūroje (300-800 °C). Dažniausiai medžio anglies gamybai naudojami kelmai, šakotos kamienų dalys, specialiai tam paruoštos kaladėlės ar presuotų pjuvenų briketai.

Smulkinimas yra pagrindinis procesas, lemiantis visą skiedrų gamybos proceso valdymą. Smulkinimo įrengimai, priklausomai nuo konstrukcinių – projektinių ypatybių naudoja skirtingus pirminius jėgos šaltinius ir gali būti sumontuoti ant įvairių bazinių mašinų. Dažniausiai naudojamos diskinės kapoklės, kurios pjausto apvalią medieną, atraižas bei kitas lėtpjūvių atliekas į skiedras; ir cilindrinės kapoklės, kurios pjausto smulkią medieną, šakas, atraižas ir pan.); kūjiniai trupintuvai smulkiną kirtimo ir lėtpjūvių atliekas, įpakavimo medieną, žieves. Kūjiniai trupintuvai, priešingai nei diskinės ar cilindrinės kapoklės, yra santykinai neįtrauktos priemonės.

Medienos kuro atsargų kiekis priklausomai nuo jo poreikio. Skiedrų sandėliavimo vieta turi būti išbetonuota (arba padarytas gerai suspaustas pamatinis sluoksnis iš žievių ar prastesnės kokybės skiedrų). Kuro skiedrų, laikomų krūvose, savybės greitai keičiasi. Veikiamos mikrobu, cheminių ir fizinių procesų, jos pradeda irti. Visiems minėtiems procesams reikalinga energija, taigi, laikant kurą krūvose, skiedrų energetiniai nuostoliai yra neišvengiami.

Bet kurios biokuro rūšies (malkų, skiedrų, granuliu, briketų) gamybos energetiniai poreikiai priklauso nuo gamybos technologinės linijos sudėties ir technologinių operacijų kiekio bei energoimlumo.

Įrenginio, apdorojančio biomase, tiesioginės energijos sąnaudos E_i (MJ/t) apskaičiuojamos pagal šią lygtį:

$$E_i = k_e \cdot \frac{P_i}{N_i}, \quad (3.1)$$

čia: P_i – įrenginio elektros variklio galia, kW;
 N_i – įrenginio našumas, t/h;

k_e – energetinių sąnaudų pervedimo į MJ koeficientas, $k = 3,6 \text{ MJ}/(\text{kW}\cdot\text{h})$.

Pagal (3.1) lygtį apskaičiuojamos transporterių, smulkintuvų, maišymo įrenginių, malūnų, kapoklių, presų ir kitų įrengimų, turinčių elektros pavaras, energijos sąnaudos.

Motorinio pjūklo energijos sąnaudos E_{mpj} (MJ/t) nustatomos remiantis pjūklo valandiniu kuro suvartojimu G_{mpj} ir darbo motoriniu pjūklu našumu N_{mpj} :

$$E_{mpj} = \frac{G_{mpj} \cdot k_k}{N_{mpj} \cdot \rho} \quad (3.2)$$

čia: G_{mpj} – motorinio pjūklo kuro sąnaudos, kg/h;

N_{mpj} – darbo motoriniu pjūklu našumas, m^3/h ;

ρ – medienos tankis, t/m^3 ;

k_k – degalų energinis ekvivalentas, MJ/kg; $k_k = 42,7 \text{ MJ}/\text{kg}$.

Tiesioginės energijos sąnaudos biomasei transportuoti E_t (MJ/t) apskaičiuojamos pagal formulę:

$$E_t = \frac{\gamma_t \cdot \beta \cdot L_t}{M}, \quad (3.3)$$

čia: γ_t – tiesioginių energijos sąnaudų transportavimui energinis ekvivalentas, MJ/t·km;

β – vienu reisų pervežamos produkcijos masė, t;

M – paruoštos produkcijos kiekis, t;

L_t – transportavimo atstumas, km.

Pjuvenos džiovinamos būgninėmis džiovyklomis, kurios gali būti kūrenamos pjuvenomis arba skystu kuru. Energijos sąnaudos reikalingos išdžiovinti pjuvenas E_{pd} (MJ/t):

$$E_{pd} = 10^3 \cdot \frac{r \cdot m_v}{M} \quad (3.4)$$

čia: r – specifinė vandens garavimo šiluma, MJ/kg; $r = 2,256 \text{ MJ}/\text{kg}$;

m_v – džiovinant išgarinamo vandens kiekis, kg;

Džiovinant išgarinamo vandens kiekis m_v (kg) nustatomas pagal lygtį:

$$m_v = m_d \cdot \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2} \quad (3.5)$$

čia: m_d – drėgnų pjuvenų masė, kg;

W_1 ir W_2 – drėgnų ir išdžiūvusių pjuvenų santykinis drėgnumas, %.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Bioenergy from Sustainable Forestry. Edited by J. Richardson. – Kluwer Academic Publishers, 2002. – 358 p.
2. Energy and biomass engineering. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Volume V. Edited by O. Kitani. – Michigan: American Society of Agricultural Engineering, 1999. – 330 p.
3. The biomass assessment handbook. Bioenergy for sustainable environment. Edited by F. Rossillo-Calle, P. de Groot, S. L. Hemstock and J. Woods. – London: Earthscan, 2007. – 269 p.
4. Sims R. E. H. The Brilliance of Bioenergy. In business and in practice. – London: James&James, 2002. – 316 p.
5. Sorensen B. Renewable Energy, Academic Press, 2000. – 928 p.
6. Wood for Energy Production. Technology, Environment, Economy / The Centre for Biomass Technology.-Trojborg Bogtryk: Bio Press, 1999.
7. Soil fertility and cultivation of energy crops. Edited by Coombs J. – Luxemburg: Office for Official publications of the European Communities, 1996. – 220 p.
8. Herzog A.V., Lipman T.E., Kammen D.M. Renewable Energy sources / Energy Resource Science and Technology Issues in Sustainable Development. 2001. – 63 p.
9. Hakkila P. Developing technology for large-scale production of forest chips / Technology Programme Report 5/2003, Helsinki 2003. – 58 p.
10. Jasinskas A., Liubarskis V. Energetiniai augalai ir jų naudojimo technologijos, Kaunas, Technologija, 2003, 96 p.
11. Genutis A., Navickas K., Rutkauskas G., Šateikis I. Atsinaujinančiosios ir alternatyviosios energijos naudojimas šilumos gamybai, Kaunas, Technologija, 2003, 112 p.
12. Rosenqvist H., Roos A., Ling E., Hektor B. Willow growers in Sweden / Biomass and Bioenergy 18, 2000. – P. 137-145.
13. Lewandowski I., Clifton-Brown J.C., Scurlock J.M.O., Huisman W. Miscanthus: European experience with a novel energy crop / Biomass and Bioenergy 19, 2000. – P. 209-227.
14. Dimitriou I., Aronsson P. Willows for energy and phytoremediation in Sweden / Unasylva 221, Vol. 56, 2005. – P. 47-50.
15. Allen J., Browne M., Hunter A., Boyd J. Palmer H. Logistics management and costs of biomass fuel supply / International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 28 No. 6, 1998. – P. 463-477.
16. Venslauskas K. Aplinkos taršos mažinimas perdurbant žemės ūkio organines atliekas į biodujas / Daktaro disertacija, LŽŪU, 2009. – 95 p.