

Miško biokuro išteklių potencialo ir gamybos modeliavimas

Eugenija Farida Dzenajavičienė,

Vaclovas Kveselis,

Matas Tamonis

*Lietuvos energetikos institutas,
Regionų energetikos
plėtros laboratorija,
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas
El. paštas: farida@mail.lei.lt*

Energijos gamyba naudojant atsinaujinančius energijos išteklius yra vienas iš Europos Sąjungos (ES) energetikos politikos prioritetų. ES siekia mažinti ekonominę priklausomybę nuo iš trečiųjų šalių importuojamo kuro ir neigiamą energetikos poveikį aplinkai mažinant CO₂ emisijas. Vienas atsinaujinančių energijos išteklių yra biokuras, kurio naudojimas skatina vietinės ekonomikos augimą ir sukuria darbo vietas. Be to, energijos šaltinių diversifikavimas didina energijos tiekimo patikimumą.

Iki šiol nėra sukurta patikimų įrankių – metodikų ir modelių – tiek atsinaujinančių išteklių potencialo vertinimui ir investicijų planavimui biokuro gamybos sąnaudų pagrindu, tiek ir investicijų planavimui šilumos tiekimo sektoriuje, remiantis darnaus planavimo principais ir diegiant pažangias individualaus ir centralizuoto šilumos tiekimo technologijas.

Autorių pristatomame tyrime buvo sukurta biokuro gamybos potencialo ir gamybos vertinimo metodika bei atitinkamas modelis. Modeliavimas parodė, kad skiedros gamybą būtų galima padidinti 1 mln. m³/metus ir pagaminti dvigubai daugiau biokuro nei gaminama dabar panaudojant 10 % šiuo metu miške paliekamų kirtimų ir miško tvarkymo atliekų. Straipsnyje parodyta, kad visas potencialas sudarytų apie 4 250 tūkst. m³/metus biokuro. Biokuro gamybos potencialo vertinimo metodika, susiejanti potencialius biomasės išteklius biokuro gamybai konkrečioje savivaldybės teritorijoje su miško kirtimų ir miškotvarkos darbų apimtėmis, ir autorių atlikta biokuro gamybos ir transportavimo sąnaudų tyrimo analizė parodė, kad svarbiausi veiksniai, lemiantys biomasės panaudojimą biokuro gamybai, yra biomasės ištraukimo iš miškų atstumas, 1 ha plote susidarančių atliekų tūris ir kuro sąnaudos bei biokuro transportavimo į katilines atstumas.

Raktažodžiai: biokuras, modeliavimas, planavimas, gamybos sąnaudos

ĮVADAS

Vienas iš Europos Sąjungos energetikos politikos prioritetų yra energijos gamyba naudojant atsinaujinančius energijos išteklius, leidžiančius mažinti ekonominę priklausomybę nuo iš trečiųjų šalių importuojamo kuro, ir neigiamą energetikos poveikį aplinkai sumažinant CO₂ emisijas. Vienas iš Lietuvai svarbiausių atsinaujinančių energijos išteklių yra biokuras. Jo naudojimas ne tik pa-

deda įgyvendinti ES tikslus, bet taip pat skatina ekonomikos augimą ir sukuria naujų darbo vietų bei didina energijos tiekimo patikimumą.

Atsinaujinančių išteklių energetikos (AIE) įstatymas [1] įpareigoja Lietuvos savivaldybes parengti ir, suderinus su Vyriausybe ar jos įgaliota institucija, tvirtinti bei įgyvendinti atsinaujinančiųjų išteklių energijos naudojimo plėtros veiksmų planus, kuriuose centralizuotas šilumos tiekimas (CŠT) vaidina svarbų vaidmenį ir leidžia panaudoti

atliekinę šilumą bei atsinaujinančius energijos išteklius, tarp jų ir biokurą.

Iki šiol nėra sukurta patikimų įrankių – metodikų ir modelių – atsinaujinančių energijos išteklių potencialo vertinimui ir investicijų planavimui biokuro gamybos sąnaudų pagrindu. Straipsnyje pateikta originali miškų biomasės potencialo vertinimo metodika ir imitacinis modelis, paremtas miškų ūkio statistikos duomenimis, skirtas galimų biokuro gamybos apimčių įvertinimui atsižvelgiant į esamo potencialo panaudojimo laipsnį.

Biokuro gamybos, gamybos ir vartojimo mokslinių tyrimų bei praktikos raidos Lietuvoje vertinimas

Publikacijų biokuro gamybos ir naudojimo tematika analizė rodo, kad šios problemos Lietuvoje išsamiau pradėtos tyrinėti tik po 1990 m., o pagrindiniai tyrimai buvo skirti medienos kuro potencialo nustatymui ir jo panaudojimo galimybių įvertinimui.

Pirmieji tyrimai nustatė skirtingas kirtimų atliekų apimtis dėl taikytų nesuderintų normatyvų, nevienodos kirtimo atliekų struktūros bei informacijos trūkumo. Prie jų derėtų priskirti Lietuvos energetikos instituto (LEI) parengtą Lietuvos ataskaitą Europos atsinaujinančios energetikos studijai [2] ir Lahmayer International ir Cowi Consult ekspertų atliktą Lietuvos nuosavų išteklių, tinkamų energijai gaminti, apžvalgą [3]. Čia malkų ir miškininkystės atliekų energinis potencialas, nustatytas 1 226 tūkst. ha valstybinių miškų plotui artimuoju laikotarpiu (1990–1995), buvo įvertintas 3,8 PJ (0,857 TWh), o ilgalaikėje perspektyvoje – iki 21,58 PJ (6 TWh) per metus [2]. Kadangi faktinis visas Lietuvos miškų plotas buvo apie 1,75 karto didesnis, remiantis šiais duomenimis, 1990–1995 m. metinis malkų gamybos ir miškininkystės atliekų energinis potencialas turėjo būti vertinamas 1,5 TWh, o ilgalaikėje perspektyvoje padidėti iki 10,5 TWh. Lahmayer studijoje [3] buvo įvertinta, kad 1993 m. sunaudota 1,8 TWh medienos kuro, o prognozuojamas potencialas – 15,7 TWh/metus. Šių dviejų studijų skirtingų rezultatų priežastimi galėjo būti skirtingi įvesties duomenys (miškų plotas, biokuro šilumingumas, medienos tankis ir t. t.).

ES PHARE programos finansuotoje studijoje [4] visų atsinaujinančiųjų energijos išteklių vartojimas 1997 m. įvertintas 3,8 TWh/metus ir prognozuojamas vartojimas – iki 15 TWh/metus, iš jų kietojo biokuro – 1 TWh/metus. Apie 0,45 TWh/metus energijos galėjo būti gaminama naudojant medieną. Palyginus su [2], vartojimas sudarė apie 52 % pagal kirtimų apimtį apskaičiuoto potencialo.

Danish Energy Management A/S parengtos studijos [5] duomenimis, medienos kuro potencialas sudaro 9,8 TWh/metus, t. y. artimas techniniam potencialui, apskaičiuotam pagal kirtimų apimtį [2]. Kiek vėliau, 2003 m., LEI-EREC parengta Europos Komisijos Altener programos finansuota studija apie atsinaujinančios energetikos politiką Lietuvoje [6], kurioje medienos kuro potencialas 2020 m., kaip ir Danijos ekspertų studijoje, įvertintas 9,8 TWh/metus.

Pirmųjų tyrimų išskirtinumas, kad juos pradėjo energetikai, ieškodami naujų vietinių energijos išteklių. 1999–2000 m. vykdytame bendrame Lietuvos–Švedijos projekte „Medienos panaudojimo kurui plėtra Lietuvoje“ jau dalyvavo ir miškininkų atstovai – Rokiškio urėdija. Buvo nustatyta, kad bendras medienos atliekų, tinkamų energijos gamybai, tūris yra 2,7 mln. m³ (4,17 TWh/metus), iš kurio apie 0,8 mln. m³ (1,67 TWh/metus) yra kirtimų atliekos, apie 0,8 mln. m³ (1,67 TWh/metus) – medienos pramonės pjuvenos ir drožlės. Likusi dalis, apie 1,1 mln. m³ (2,29 TWh/metus), – malkos [7]. Potencialiais kuro šaltiniais laikomos tiek malkos, tiek likvidinės medienos gamybos atliekos. 1990–2009 m. Lietuvos miškuose per metus buvo iškertama nuo 3 iki 5,7–6,5, 1990–2007 m. – 6,2–6,5 mln. m³ medienos. Iš jų 2009 m. buvo pagaminta ir parduota 0,623 mln. m³ (1,3 TWh), o 2007 m. – 0,442 mln. m³ (0,922 TWh) malkų.

Biokuro – kapotinės skiedros – pardavimų kaita pateikta 1 lentelėje [8]. Šie skaičiai rodo akivaizdžius medienos kuro gamybos pokyčius 2005–2011 m.

Rengiant Nacionalinę biomasės ir biokuro gamybos ir naudojimo technologijų platformos galimybių studiją malkine mediena buvo laikoma ta stiebų dalis, kuri netinka perdirbimui ir sudaro apie 15 % iškertamos miškų medienos tūrio – apie 0,9–1,0 mln. m³ per metus [9]. Kauno miškų ir aplinkos inžinerijos kolegijos specialistai yra sukūrę miško kirtimo atliekų kiekio įvertinimo metodiką ir nustatę, kad kasmet visose Lietuvos urėdijose bendras kirtimo atliekų tūris, kurį galima panaudoti nedarant žalos gamtai, gali siekti iki 0,78 mln. m³ [10, 11]. Yra duomenų, kad medienos kuro gamybos apimtys galėjo būti dar didesnės. Anot Lietuvos biomasės energetikos asociacijos LIT-BIOMA, tokio kuro buvo sunaudojama gerokai daugiau – valstybiniuose miškuose pagaminama apie 1,23 mln. m³ malkų, o privačiuose miškuose – 0,99 mln. m³, t. y. iš viso apie 2,22 mln. m³ [12].

Aleksandro Stulginskio universiteto vertinimu, kasmet susidaro apie 2,5 mln. m³ kirtimo atliekų, tačiau realiai biokurui galima panaudoti ne daugiau kaip 1 mln. m³ [13]. Medienos kuro gamybos ir vartojimo rezultatų skir-

1 lentelė. Miško kirtimo atliekų pardavimų kaita 2005–2011 metais

Pardavimų metai	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Pardavimų tūriai 1 000 m ³	64,5	75,6	56,5	71,6	76,9	74,8	155
Energetinė vertė GWh	133,6	156,6	117,1	148,3	159,3	155,0	321,1

2 lentelė. Miško kirtimų ir susidarantių kirtimo atliekų kiekio prognozė

Laikotarpis	Kirtimų apimtis mln. m ³ /metus	Susidarantių kirtimo atliekų kiekis mln. m ³ /metus	Atliekų energinė vertė TWh/metus
2001–2010	6,3	0,975	3,03
2011–2020	7,5	1,125	2,35
2021–2030	8,3	1,245	2,6

tumus lemia naudotos nevienodos metodikos, tyrėjų disponuojama informacija bei medienos apdorojimo ir perdirbimo technologijų tobulėjimas.

Medienos kuro sunaudojimas ėmė sparčiai augti, kai mediena pradėta kurenti centralizuoto šilumos tiekimo (CŠT) katilinėse. Padėtas deginti kokybiškai naujo tipo biokuras – medienos kapotinė skiedra, gauta susmulkinus medienos kirtimo arba perdirbimo atliekas.

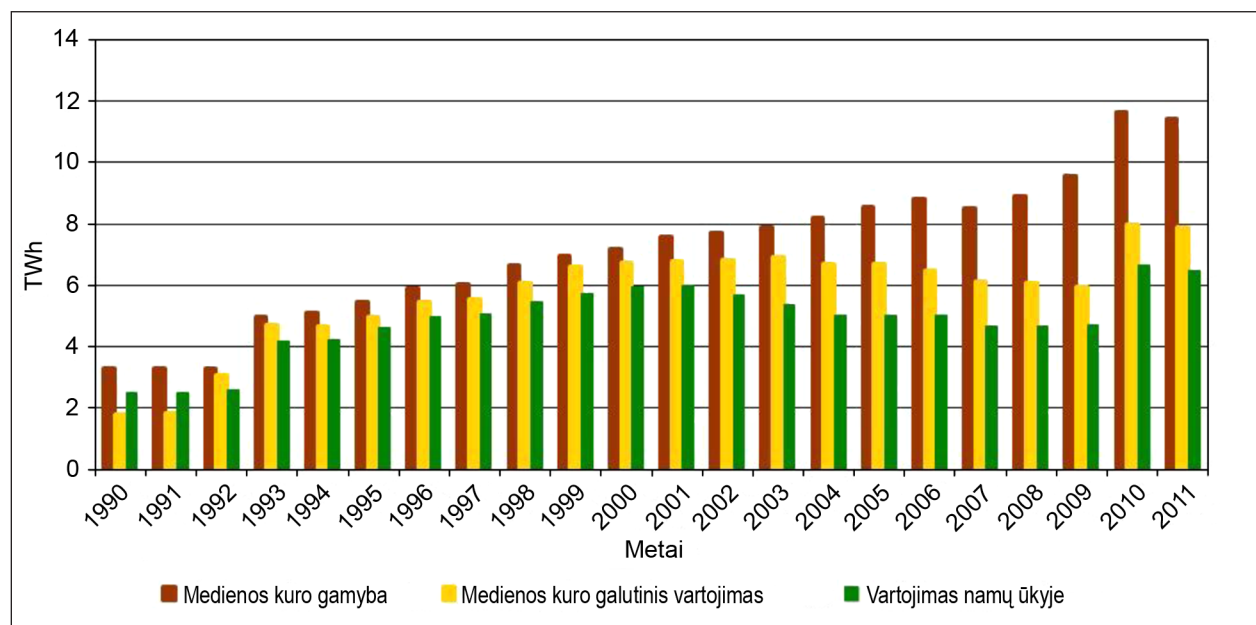
Numatomi iškertamos medienos kiekiai [9, 14], kurie daugiausia lems kirtimo atliekų apimtį (2 lentelė).

Yra ir kitokių prognozių. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro Lietuvos miškų instituto mokslininkai A. Kuliešis ir E. Petrauskas atliko 2001–2030 m. miškų medienos išteklių prognozę, pagal kurią 2025 m. kirtimų apimtys sudarys 8,94 mln. m³, o malkinės medienos gamybos apimtys vertinamos 2,68 mln. m³ (5,59 TWh) [15]. Didesniąją šių atliekų dalį, apie 1,63 mln. m³ (5,59 TWh), sudarys medienos pramonės atliekos. Kirtimo atliekos sieks apie 1,08 mln. m³ (2,25 TWh) [16]. Kiti šio instituto specialistai, atlikę išsamią visos medienos panaudojimo kurui analizę [17], nustatė, kad Lietuvoje gyventojai kasmet sukūrena po 2,2–2,5 mln. m³ malkų ir medienos pramonės atliekų, t. y. energinės sąnaudos sudaro apie 5,2 TWh per metus [18]. Tai rodo, kad dalis gyventojų neperka malkų iš miškininkystės ūkio įmonių.

Remiantis Lietuvos energetikos statistikos duomenimis [19], pastebimos biokuro gamybos ir vartojimo kaitos tendencijas pateiktos 1 pav.

Parodytas biokuro vartojimas (1 pav.) namų ūkiuose yra viso galutinio vartojimo dalis. Statistinis galutinis vartojimas 1990–1991 m. buvo mažesnis už vartojimą vien tik namų ūkiuose ir tik nuo 1992 m. pradėjo jį viršyti. Biokuro naudojimas augo dėl nedidelės kainos, nesudėtingos ir santykinai nebrangios deginimo technologijos, mažesnio teršalų kiekio išmetamuose degimo produktuose. Tai pagrindiniai veiksniai, lėmę pakankamai spartų biokuro gamybos augimą 1993–2011 m. Akivaizdus galutinio vartojimo padidėjimas remiasi 2009 m. tyrimo duomenimis [17] apie energijos suvartojimą namų ūkiuose ir gali būti siejamas su naftos bei gamtinių dujų kainų šuoliu.

Pateikti duomenys rodo, kad per pastaruosius 20 metų biokuro gamyba išaugo nuo 3,3 iki beveik 10,9 TWh/metus. Individualiems namams šildyti miškininkystės ūkyje pagaminama apie 2,3–2,7 TWh/metus malkinės medienos. Dar apie 5,59 TWh/metus biokuro pagamina medienos apdirbimo pramonė. Tai maždaug atitinka parodytą medienos kuro gamybos lygį 2004–2007 m. Vadinasi, į 1 pav. statistikos duomenis įtraukta tik dalis sunkiai apskaitomos gyventojų malkų saviruošos.



1 pav. Biokuro vartojimas energijos gamybai TWh

Biokuro gamybos procesų modeliavimas

Biokuro (medienos kapotinės skiedros) gamybos žaliava yra medienos apdoravimo atliekos, miškai, krūmai bei tam tikslui auginamos medžių plantacijos. Bendruoju atveju technologinis procesas apima:

- a) medynų ugdymą;
- b) kirtavietėse susidariusių atliekų surinkimą ir ištraukimą iki smulkinimo aikštelių;
- c) skiedros gamybą;
- d) skiedros transportavimą į tarpinius sandėlius ir pateikimą galutiniam vartotojui.

Pirmasis procesas yra aktualus tuomet, kai mediena auginama specialiose plantacijose. Medžių kirtimas (įskaitant dalinį, ekonomiškai pateisinamą kirtimo atliekų surinkimą) yra miškininkystės ūkio prerogatyva. Savivaldybių atsakomybė – biokuro poreikių planavimas bei parama formuojant jo gamybai reikalingą infrastruktūrą. Tam tikslui reikalingą informaciją savivaldybės galėtų gauti pasitelkę matematinio modeliavimo rezultatus.

Biokuro gamybos matematiniam modeliui sudaryti šalies ar atskiros savivaldybės lygiu būtina ši informacija: duomenys apie miškų ar jų augimui tinkamos žemės plotus, jų derlingumą, numatomas kirtimų apimtis, kelius ir kitas reikšmingas charakteristikas, o taip pat medienos kirtimo atliekų, tinkamų kuro gamybai, kiekiai, tenkinantis materialinio balanso lygtį:

$$SGZ \leq KRV(\tau) \cdot \eta(\tau); \quad (1)$$

čia $SGZ(\tau)$ – skiedros gamybos žaliavų kiekiai laikotarpiu τ mln. m^3 ; $KRV(\tau)$ – metiniai medienos kirtimų kiekiai mln. m^3 ; $\eta(\tau)$ – nukirstos medienos panaudojimo energinėms reikmėms koeficientas.

Medienos skiedros kiekio energijos poreikių tenkinimui lygtis:

$$\sum_e SGZ_e(\tau) \cdot \eta_e(\tau) \leq \sum_e EP_e(\tau); \quad (2)$$

čia $SGZ_e(\tau)$ – skiedros gamybos žaliavų kiekiai, panaudojami e -rūšies energijos gamybai; $\eta_e(\tau)$ – medienos skiedros transformavimo į e -rūšies energiją koeficientas; $EP_e(\tau)$ – e -rūšies energijos poreikiai.

Potencialių medienos išteklių kuro gamybai vertinimas.

Lietuvos miškų plotas 1990–2010 m. didėjo. Dažniausiai miškų plotas pateikiamas procentais nuo bendro Lietuvos ploto (65,2 tūkst. km^2 , arba 6,52 mln. ha). Miškų ploto prognozavimui matematiniam modelyje naudojama tiesinės regresijos lygtis:

$$\begin{aligned} MPL(\tau) &= 0,0112 \text{ metai} - 20,373; \\ \tau &= \text{metai} - 1990; \end{aligned} \quad (3)$$

čia MPL – miškų plotas mln. ha.

Informacijos apie Lietuvos miškuose esančius medienos kiekius iki 2005 m. praktiškai nebuvo ir tik po 2005 m., kai buvo atliktas Pasaulinis miško išteklių įvertinimas (*Global Forest Resources Assessment*), atsirado galimybės nustatyti potencialių miško atliekų, naudotinų biokuro gamybai, kiekį [20]. Jį atliko Jungtinių Tautų maisto ir žemės ūkio organizacija (FAO). Čia visa miškų biomasė buvo suskirstyta į žemės paviršiuje esančią biomasę, po žeme esančią biomasę ir sausulių biomasę. Kiekviena biomasės kategorija buvo nustatyta naudojantis baziniais kamieninės medienos tankiais pagal medžių rūšis. Gautos gyvų šakų bei šakų, tinkamų kurui, tūrio priklausomybės nuo jų sąlygojančių parametų – medžių skersmens, aukštingumo klasės, amžiaus, dirvožemio derlingumo ir drėgnumo.

Toks modelis, suderintas su integruoto valstybinio miškų kadastro informacine sistema, leidžia apskaičiuoti bendrą biomasės kiekį Lietuvos regionuose. Nustatytas bendras miškų biomasės kiekis šalyje yra didesnis nei 200 mln. t (įvertinant tik žemės paviršiuje esančią biomasę). Visa biomasė (antžeminė, požeminė ir sausulių) sudaro apie 275 mln. t.

Miškų kirtimo apimčių ir susidarančių atliekų modelis.

Turimi statistiniai kirtimų apimčių duomenys nuo 1990 m. Kiek sudėtingiau įvertinti kirtimų ($KRV(\tau)$) struktūrą dėl pakitusios kirtimų tipų klasifikacijos. Atsižvelgiant į labai besiskiriančias kirtimo atliekų ištraukimo iš miško sąnaudas, šiame darbe apsiribota 4 kirtaviečių tipais: plynais, tarpiniais ir ugdomaisiais kirtimais, pastaruosius skaidant į dvi dalis (jaunuolynuose, kurių amžius mažesnis arba didesnis nei 10 metų). Tuomet kirtimų atliekų materialinis balansas yra:

$$\frac{PLK(\tau)}{KRV(\tau)} + \frac{TRK(\tau)}{KRV(\tau)} + \frac{JAT10(\tau)}{KRV(\tau)} + \frac{JAT20(\tau)}{KRV(\tau)} = 1; \quad (4)$$

čia KRV – kirtimų kiekiai mln. m^3 ; PLK – plynų kirtimų atliekos mln. m^3 ; TRK – tarpinių kirtimų atliekos mln. m^3 ; $JAT10$ – jaunuolynų iki 10 metų amžiaus kirtimo atliekos mln. m^3 ; $JAT20$ – jaunuolynų per 10 metų amžiaus kirtimo atliekos mln. m^3 ; t – laikotarpis metais. Panaudoję santropas (4) lygtyje esantiems nariams, turime:

$$\sum_i a_i = a_1(\tau) + a_2(\tau) + a_3(\tau) + a_4(\tau) = 1. \quad (5)$$

Miškuose iškertama biomasė susideda iš likvidinės ir nelikvidinės medienos, tačiau jos panaudojimo biokuro gamybai vertinimams tokio suskirstymo nepakanka. Likvidinė mediena yra žaliava medienos apdirbimo pramonei, kuriai (malkoms) bei kitoms reikmėms. Vystantis technologijoms, malkinė mediena tapo žaliava popieriaus pramonei (popiermalkės), baldų pramonei (medienos drožlių plokštės), aukštesnės kokybės kuro (granulių, briketų) gamybai. Kadangi tam tikra dalis likvidinės medienos (malkos) visada buvo ir tebenaudojama kurui, me-

dienos naudojimo energetikai plėtra turėtų būti siejama su nelikvidinės medienos panaudojimu. Tradiciškai miškų kirtimo veikla apibūdinama tik naudingai panaudojamos (likvidžios) medienos rodikliais pamirštant miškuose paliktas atliekas. Neretai pateisinamas kuo didesnio atliekų kiekio palikimas miškuose, motyvuojant miškų dirvožemio kokybės gerinimu, valksmų stiprinimu ar bioįvairovės išsaugojimu. Iš nederlingų miškų kirtimo išvežti atliekas draudžia Pagrindinės miško kirtimo taisyklės. Be to, visų atliekų surinkimas ir panaudojimas biokurui nepateisintų išlaidų. Atliekų susidarymą siejant su kirtimų apimtėmis kirtimų balanso lygtį galima užrašyti taip:

$$KRV(\tau) = KR_{APS}(\tau) + P_{POT}(\tau); \quad (6)$$

čia KRV – medienos kirtimų apimtys mln. m³; KR_{APS} – apskaitomos medienos kirtimų apimtys mln. m³; KR_{POT} – potencialios kirtimų atliekų apimtys mln. m³; τ – laikotarpis metais.

Kadangi iškertamos medienos apskaita tvarkoma tik likvidžiai medienai, savaime suprantama, kad likusi nelikvidinės medienos dalis gali būti įvertinta tik teoriškai, remiantis esamais tyrimais. Taigi, potenciali miško medienos dalis, kurią būtų galima panaudoti energetikos reikmėms:

$$d(\tau) = \frac{KR_{POT}(\tau)}{KRV(\tau)}. \quad (7)$$

Nors Lietuvoje kirtimo atliekų kiekiai vertinami periodiškai, yra susiformavusi nuomonė [21], kad įvairių autorių skirtingu laiku vykdyti tyrimai yra nepalyginami. Išsamesnė analizė rodo, kad trijų autorių [15, 22, 23] skirtingu laiku atliktų tyrimų rezultatai skiriasi tik $\pm 3\%$ (3 lentelė).

Naujesni tyrimų rezultatai [24] rodo esminius kirtimo atliekų pokyčius. Kadangi nėra duomenų, kad 2005–2012 m. iš kirtimų būtų panaudoti beveik visi kelmai ir

lapai, tai šie rezultatai, cituojant L. Sadauskienę ir kt. [21], negali būti lyginami su ankstesnių tyrimų rezultatais. Tačiau šie tyrimai įdomūs tuo, kad net pakoregavus kelmų ir lapų sandus, jie aiškiai parodo miškuose paliekamų atliekų mažėjimo tendencijas. Nesant kitų duomenų tenka daryti išankstinę prielaidą, kad iki 2020 m. miške paliekamų atliekų dalis galėtų būti sumažinta nuo dabartinių ~55 iki 40 % (2 pav.).

Esant tokioms prielaidoms, miške paliekamų atliekų kiekio dinamika galėtų būti aprašoma lygtimi:

$$d_1(\tau) = 11,905 - 0,0057 \cdot (1988 + \tau); \quad (8)$$

čia d_1 – viršūnės, šakos, smulkūs stiebai, atraižos mln. m³.

Priimant tokią hipotezę, tektų peržiūrėti praėjusio laikotarpio duomenis. Kita vertus, nėra argumentų paneigti teiginiui, kad iki 2004–2009 m. miške paliekamų atliekų santykinė dalis išliko artima vidutinei buvusių tyrimų reikšmei (1 lentelė). Toks raidos scenarijus nelikvidinei medienai galėtų būti aprašomas:

$$d_2(\tau) = \begin{cases} 0,54, & \text{kai } \tau \leq \tau_{kr}, \\ 0,54 - \alpha \cdot (\tau - \tau_{kr}), & \text{kai } \tau > \tau_{kr}; \end{cases} \quad (9)$$

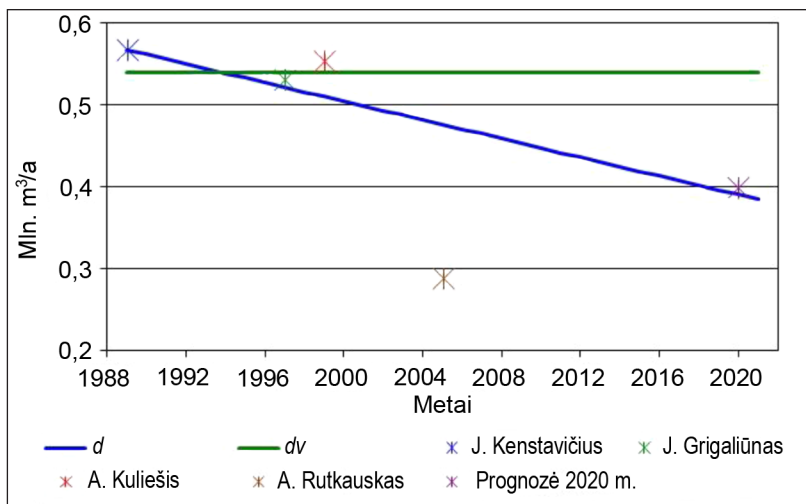
čia d_2 – nelikvidinė mediena mln. m³; τ_{kr} – 2005 m. (paskutinių atliktų tyrimų metai); α – pasirinktas miške likusių atliekų, panaudotinių skiedros gamybai, regresijos koeficientas – 0,005; 0,01 arba 0,015.

Abi išraiškos galėtų būti rekomenduojamos dabartinės būklės vertinimui bei prognostiniams skaičiavimams, kol nebus išsamesnių tyrimų. Antroji lygtis būtų patogesnė, nes į medienos kirtimų balansines lygtis leistų įtraukti sandą, apibūdinantį atliekų panaudojimo skiedros gamybai augimą, pasitelkus α parametą.

Scenarijus pagal (8) lygtį yra gana artimas scenarijui pagal (9) lygtį, o kiti scenarijai atitiktų kur kas spartesnį kirtimo atliekų panaudojimą.

3 lentelė. Miškų kirtimų struktūrinių tyrimų rezultatų suvestinė mln. m³

Kirtimų struktūra tenkinant sąlygą: $\sum_i d_i + \sum_i b_i = 1$	Kenstavičius [22], 1989	Grigaliūnas [23], 1997	Kuliešis [15], 1999	Rutkauskas [24], 2005	Matematiniam modeliui priimtos vidutinės reikšmės
Potencialių medienos atliekų balansas $d(\tau)$	0,568	0,532	0,555	0,29	0,54
Viršūnės, smulkūs stiebai, atraižos $d_1(\tau)$	0,195	0,228	0,3	0,06	0,22
Nelikvidinės šakos $d_2(\tau)$	0,159	0,207*	0,077	0,13	0,1
Kelmai ir šaknyš $d_3(\tau)$	0,084	0,15	0,179	0,01	0,15
Spygliai ir lapai $d_4(\tau)$	0,065	–	0,021	–	0,04
Medienos žievė $d_5(\tau)$	0,065	–	0	0,1	0,03
Draudžiamų naudoti potencialių atliekų dalis	0,22	0,18	0,37	0,2	
Likvidinė stiebų mediena $b_1(\tau) + b_2(\tau)$	0,432	0,468	0,537	0,71	0,46
Padarinė mediena $b_1(\tau)$	0,232	0,228	0,36		0,29
Malkinė mediena $b_2(\tau)$	0,2	0,17	0,177		0,17
Medienos biomasės kirtimų santykis su apskaitomais likvidiniais kirtimais	2,31	2,14	1,86	1,41	2,17



2 pav. Potencialių medienos atliekų, kurios paliekamos miške, o dar galėtų būti panaudotos kuro gamybai, retrospektyva ir prognozės: *d* – perspektyvinė raida ir *dv* – vidutinė reikšmė pagal (7) lygtį

Stabilesni yra padarinės medienos tyrimų duomenys, nors nepavyko rasti aiškiai apibrėžto skirtumo tarp malkinės ir padarinės medienos. Malkinė [25] mediena laikoma ta dalis stiebų, kuri netinka perdirbimui (puvinys, kreivumas, kitos ydos). Orientaciniais vertinimais, malkinė mediena sudaro apie 15 % iškertamos medienos tūrio.

Kadangi nėra duomenų, kuri malkinės medienos dalis ar iš miško ištraukiamų atliekų kiekis yra panaudojamas skiedros gamybai, priimame hipotetinį skiedros gamybos priaugį laikotarpiui nuo $\tau_{kr} = 2005$ iki 2020 m., kuris galėtų būti pasiektas vien miške paliekamų potencialių atliekų mažinimo sąskaita nedidinant miško kirtimų ir malkinės medienos gamybos apimčių. Tokiu atveju malkinės medienos apimtys nustatomos:

$$b_2(\tau) = \begin{cases} 1 - b_1(\tau) - d_1(\tau) \text{ arba } 1 - b_1(\tau) - d_2(\tau), & \text{kai } \tau \leq \tau_{kr}, \\ b_2(\tau_{kr}), & \text{kai } \tau > \tau_{kr}. \end{cases} \quad (10)$$

Į prognozuojamą miško medienos santykinų kirtimų balansą įtraukiant hipotetinį atliekų panaudojimo didinimą skiedros gamybai $SGZ(\tau)$, galime užrašyti:

$$b_1(\tau) = b_2(\tau) + d_1(\tau) = 1. \quad (11)$$

Tuomet santykinis medienos balansas, paprastai sudaromas likvidinės medienos atžvilgiu, panaudojus santrumpas:

$$k(\tau) = \frac{LMD(\tau)}{KRV(\tau)}, \quad (12)$$

$$c(\tau) = \frac{SGZ(\tau)}{KRV(\tau)}, \quad (13)$$

atrodys taip:

$$b_1(\tau) \cdot k(\tau) + b_2(\tau) \cdot k(\tau) + c(\tau) = 1. \quad (14)$$

Iš (20) lygties matyti, kad skiedros gamybos didinimui panaudojamų atliekų dalis būtų:

$$c(\tau) = 1 - k(\tau) \cdot (b_1(\tau) + b_2(\tau)). \quad (15)$$

Įvertinant skiedros gamybos priaugį panaudojamų atliekų dalį tiesine priklausomybe nuo laiko parametrine lygtimi:

$$c(\tau) = \begin{cases} \alpha \cdot (\tau - \tau_{kr}), & \text{kai } \tau > \tau_{kr}, \\ 0, & \text{kai } \tau < \tau_{kr}; \end{cases} \quad (16)$$

galime rasti visų medienos biomasės kirtimų santykį su apskaitomais likvidiniais kirtimais esant įvairioms α parametro reikšmėms:

$$k(\tau) = \frac{1 - c(\tau)}{b_1(\tau) + b_2(\tau)}. \quad (17)$$

Potencialių medienos atliekų struktūrinių tyrimų duomenys, perskaičiuoti $1 \text{ m}^3/\text{metus}$ kirtimų apimčiai, pateikti 3 lentelėje, suskirstyti net į 5 sandus:

- 1) viršūnes, smulkius stiebus, šakas ir t. t.;
- 2) nelikvidines šakas;
- 3) kelmus ir šaknis;
- 4) spyglius ir lapus;
- 5) padarinės medienos žievę.

Šiuos potencialių atliekų sandus galima įvertinti balansine lygtimi:

$$d(\tau) = d_1(\tau) + d_2(\tau) + d_3(\tau) + d_4(\tau) + d_5(\tau). \quad (18)$$

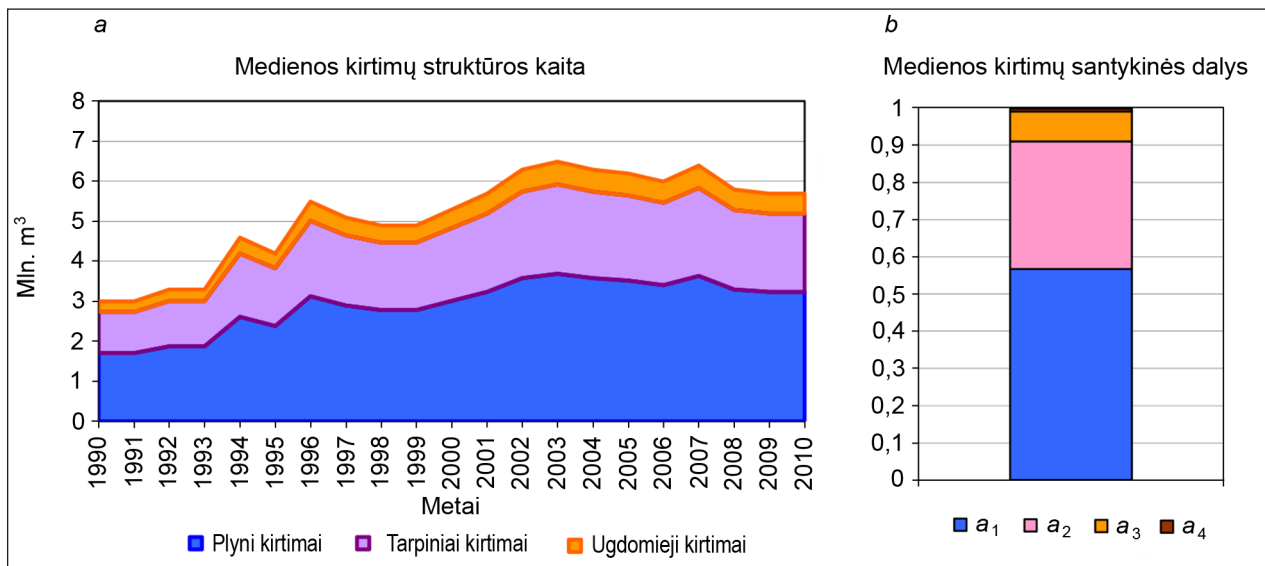
Esančių tyrimų duomenų nepakanka, kad būtų galima išsamiau nagrinėti nelikvidinių atliekų struktūrą. Orientaciniam vertinimui galima priimti, kad viršūnės, smulkūs stiebai, atraizos sudaro apie 34,3 % miško kirtimų atliekų, nelikvidinės šakos – 28 %, kelmai – 14,9 %, spygliai ir lapai – 1,4 % bei 11,4 % – padarinės medienos žievė. Tokios atliekos gali būti vertinamos kaip biokuro energetiniams tikslams rezervas, jeigu tokių atliekų paėmimas iš miško pasirodytų ekonomiškai patrauklus.

Energetikos sektoriuje naudojamo biokuro vartojimo modeliavimas

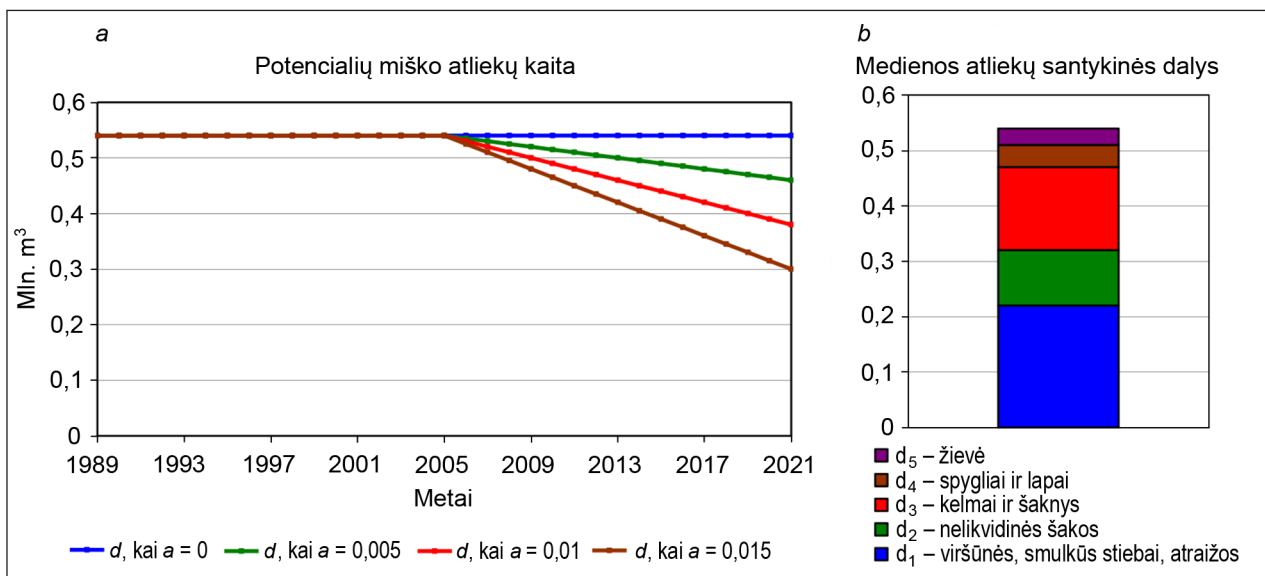
Biokuro gamybos iš miško kirtimo atliekų potencialo įvertinimas. Modelis atkuria miškų plotus ir struktūrą, pateikiamą procentais nuo bendro Lietuvos ploto (65,2 tūkst. km², arba 6,52 mln. ha) [8]. Biokuro ruošai svarbu turėti duomenis apie kirtaviečių pasiskirstymą pagal jų tipą. Remiantis įvairiais literatūros šaltiniais [21÷24] buvo priimta: plyniams kirtimams $a_1(\tau) = 0,567$, tarpiniams $a_2(\tau) = 0,343$, jaunuolynams, kurių amžius daugiau nei 10 metų $a_3(\tau) = 0,08$ ir jaunesniams $a_4(\tau) = 0,008$. Nesant duomenų apie šių koeficientų kaitą buvo daroma prielaida, kad jie išlieka pastovūs per visą laikotarpį. Esant šioms prielaidoms sumodeliuota nelikvidinės medienos kirtimo apimčių struktūra nagrinėjamam laikotarpiui pa-

rodyta 3 pav. Išaugusias kirtimų apimtis 2007 m. lėmė ne tik padarinės bei technologinės medienos paklausa, bet ir škvallų bei uraganinių vėjų neprognozuojamos miškų išvartos. Stichinės nelaimės galėjo turėti įtakos malkinės gamybos apimtims, bet tai nereiškia, kad dėl to praėjusiame dešimtmetyje iš esmės keitėsi daugiau sąnaudų reikalaujantis medienos atliekų panaudojimas.

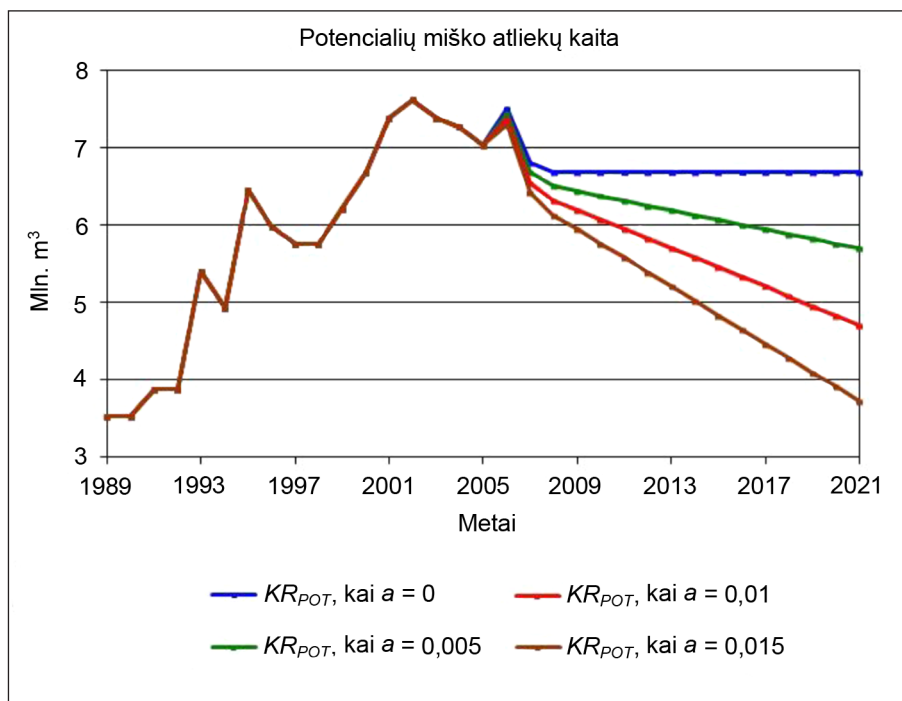
Suskirstius potencialių medienos atliekų perskaičiuotus duomenis d iš (18) lygties, kaip parodyta 3 lentelėje, į 5 sandus: (1) d_1 – viršūnes, smulkūs stiebus, šakas ir pan.; 2) d_2 – nelikvidinės šakas; 3) d_3 – kelmus ir šaknis; 4) d_4 – spyglius ir lapus; 5) d_5 – padarinės medienos žievę, galima sumodeliuoti potencialių miško atliekų dinamiką. Skaičiavimai rodo, kad parametras α gali būti didinamas geresnio smulkių stiebų, šakų ar kelmų panaudojimo sąskaita (4 pav.).



3 pav. a) Likvidinės medienos kirtimų struktūros kaita ir b) medienos kirtimų santykinės dalys pagal (5) lygtį



4 pav. Išskertamos biomasės struktūros prognozės didinant skiedros gamybą paliekamų miške atliekų sąskaita: d , kai $\alpha = 0; 0,005; 0,01$ ir $0,015$



5 pav. Potencialių (nepanaudojamų) miško atliekų kaita: KR_{POT} , kai $a = 0; 0,005; 0,01$ ir $0,015$

Toks matematinis modelis leidžia apžvelgti ne tik miškų kirtimo veiklos retrospektyvą, bet ir galimą perspektyvą ir santykiniais, ir absoliutiniais dydžiais (5 pav.). Miško kirtimų atliekos net esant didžiausioms a reikšmėms sumažėtų tik pusiau ir dar siektų apie 3 mln. t/metus. Kaip matyti, net esant $a = 0,01$, t. y. panaudojant vidutiniškai 10 % atliekų, kas daugelio miškininkų nuomone [10, 26] nekenkia darniam miškų tvarkymui tiek bioįvairovės, tiek miško išteklių naudojimo efektyvumo požiūriu, iš potencialių atliekų skiedros gamybą būtų galima padidinti 1 mln. m^3 /metus ir pagaminti dvigubai daugiau medienos skiedros nei gaminama dabar.

Miškų ūkio statistikoje, kurią kasmet atnaujina Valsstybinė miškų tarnyba, galima rasti išsamius fizinius duomenis apie visus Lietuvos miškus – plotus, rūšinę sudėtį, tūrį, produktyvumą ir t. t. Tačiau duomenys apie ūkinę veiklą – kirtimų apimtį, įvairių sortimentų gamybą ir pardavimus – yra pateikiami tik valstybinių ir restitucijai rezervuotų miškų. Privačių miškų, kuriuose ūkinė veikla yra gana aktyvi, praktiškai pateikiami tik pagrindiniai fizikiniai duomenys, o išsamios informacijos apie kirtimų apimtį nėra.

Remiantis apibendrintais įvairių šaltinių duomenimis, beveik 30 % stačio miško tūrio gali būti laikoma kirtimo atliekomis. Kirtimo atliekos yra susijusios su kirtimų apimtimis, kurios pastaruosius 10 metų mažai keitėsi ir buvo 5,5–6,5 mln. m^3 /metus.

Dar vienas miškų išteklių statistikos ypatumas, šiek tiek koreguojantis savivaldybių biokuro potencialo įvertinimą, kad duomenys yra pateikiami pagal urėdijas, kurių teritorijos

neatitinka savivaldybių teritorijų ribų. Tokių duomenų apdorojimas reikalauja sudėtingesnio perskaičiavimo norint nustatyti savivaldybės teritorijoje esantį miško biomasės potencialą, nors biokuro naudojimas nebūtinai turi būti siejamas tik su konkrečioje savivaldybėje esančiais ištekiais.

Taigi, priėmę prielaidą, kad biokurą sudaro miško kirtimo atliekos, malkinė mediena, o nesant kitos paklausos arba esant tinkamai kainai kurui galima panaudoti ir popiermalkes bei plokščių gamybai tinkamą medieną, taip pat priėmus įvairių ekspertų pateiktas bendras (valstybinių ir privačių miškų) kirtimo apimtį, modelio pagalba atlikti tyrimai įvertina, kad biokurui pastaraisiais metais, kai kirtimų kiekiai stabilizavosi, kurui būtų galima panaudoti: apie 780 tūkst. m^3 /metus kirtimo atliekų, 1 660 tūkst. m^3 /metus malkinės medienos, 1 230 tūkst. m^3 /metus popiermalkių ir 600 tūkst. m^3 /metus plokščių medienos. Iš viso tai sudarytų apie 4 250 tūkst. m^3 /metus biokuro, nors konkrečiose savivaldybėse šių išteklių apimtys gali labai skirtis (4 lentelė).

Kaputinės skiedros gamybos miškuose ilgalaikių ribinių sąnaudų tyrimas

Biokuro gamybą derėtų priskirti prie energijos išteklių gamybos ir traktuoti kaip savarankišką veiklą, panašiai kaip durpių kuro ar žalios naftos gamybą.

Skiedros, kaip energetinio kuro gamyba, susideda bent iš trijų technologinių etapų:

- 1) žaliavos skiedros gamybai paruošimas;
- 2) skiedros gamyba;
- 3) skiedros transportavimas vartotojams.

4 lentelė. Potencialūs medienos biomasės ištekliai savivaldybėse pagal perspektyvumą biokuro gamybai tūkst. m³/metus

Savivaldybė	Kirtimo atliekos	Malkinė mediena	Popiermalkės	Plokščių mediena	Iš viso
Alytaus m. sav.	0,4	1,0	0,2	0,4	2,0
Alytaus r. sav.	10,2	26,9	7,2	12,2	56,5
Druskininkų sav.	4,2	7,5	13,3	6,2	31,2
Lazdijų r. sav.	8,6	14,5	19,1	14	56,2
Varėnos r. sav.	26,1	51,9	71,7	15,3	165,0
Birštono sav.	2,5	4,8	2,7	2,9	12,9
Jonavos r. sav.	16,9	23,2	30,1	23,4	93,6
Kaišiadorių r. sav.	11,5	29,6	18,6	13	72,7
Kauno m. sav.	0,3	0,8	0,2	0,2	1,5
Kauno r. sav.	22,7	51,0	22,9	15,8	112,4
Kėdainių r. sav.	22,0	90,4	14,1	29,7	156,2
Prienų r. sav.	12,4	23,3	13,5	14	63,2
Raseinių r. sav.	15,9	58,2	15,9	1,3	91,3
Klaipėdos m. sav.	0,4	0,7	1,0	0,3	2,4
Klaipėdos r. sav.	11,8	22,8	25,3	6,9	66,8
Kretingos r. sav.	10,7	16,4	24,3	7	58,4
Neringos sav.	0,0	0,0	0,0	0	0,0
Palangos m. sav.	0,9	1,4	2,1	0,6	5,0
Skuodo r. sav.	5,7	9,0	13,0	3,6	31,3
Šilutės r. sav.	13,0	23,9	17,6	7,4	61,9
Kalvarijos sav.	2,4	5,9	1,8	4	14,1
Kazlų Rūdos sav.	16,5	17,9	23,5	12,4	70,3
Marijampolės sav.	5,6	13,6	4,2	9,1	32,5
Šakių r. sav.	16,8	43,1	21,2	1,8	82,9
Vilkaviškio r. sav.	6,3	15,4	4,6	10,3	36,6
Biržų r. sav.	20,9	23,8	35,7	10,9	91,3
Kupiškio r. sav.	22,8	41,3	26,3	0,3	90,7
Panevėžio m. sav.	0,2	0,3	0,2	0,2	0,9
Panevėžio r. sav.	38,1	67,8	45,2	36,8	187,9
Pasvalio r. sav.	11,5	14,9	18,1	6,7	51,2
Rokiškio r. sav.	22,1	43,8	23,0	3,8	92,7
Akmenės r. sav.	11,3	22,7	24,1	0,7	58,8
Joniškio r. sav.	11,9	30,5	14,1	17,2	73,7
Kelmės r. sav.	17,4	33,5	27,1	14,4	92,4
Pakruojo r. sav.	14,4	32,7	10,7	14,2	72,0
Radviliškio r. sav.	18,4	33,3	18,3	25,1	95,1
Šiaulių m. sav.	0,0	0,0	0,0	0	0,0
Šiaulių r. sav.	28,4	36,9	51,9	48,3	165,5
Jurbarko r. sav.	26,0	36,5	39,6	9,1	111,2
Pagėgių sav.	3,3	4,9	4,7	1,7	14,6
Šilalės r. sav.	14,0	35,6	31,0	6,3	86,9
Tauragės r. sav.	18,9	47,9	35,3	6,9	109,0
Mažeikių r. sav.	16,3	32,9	34,9	0,9	85,0
Plungės r. sav.	10,5	23,7	22,9	4,6	61,7
Rietavo sav.	11,9	30,2	28,3	5,8	76,2
Telšių r. sav.	13,8	28,6	28,8	8	79,2
Anykščių r. sav.	20,1	60,3	39,4	1,7	121,5
Ignalinos r. sav.	9,6	39,4	19,7	9,8	78,5
Molėtų r. sav.	11,8	61,9	18,1	4,2	96,0
Utenos r. sav.	10,8	59,6	16,5	3,7	90,6
Visagino sav.	0,6	2,3	1,2	0,6	4,7
Zarasų r. sav.	18,1	24,9	10,3	0,9	54,2
Elektrėnų sav.	5,6	14,3	8,4	6,9	35,2
Šalčininkų r. sav.	20,8	23,0	39,8	24,1	107,7
Širvintų r. sav.	12,4	31,5	23,4	12,7	80,0
Švenčionių r. sav.	27,4	33,5	49,5	15,5	125,9
Trakų r. sav.	17,3	43,8	22,2	25,2	108,5
Ukmergės r. sav.	18,5	46,9	34,9	19	119,3
Vilniaus m. sav.	2,5	3,7	4,8	2,2	13,2
Vilniaus r. sav.	26,4	40,2	51,0	24,2	141,8
Iš viso Lietuvoje	777,6	1 660,1	1 227,0	584,4	4 249,1

Kiekviename šių etapų naudojamos skirtingos technologijos, sąlygojančios būdingas savitąsias sąnaudas. Skiedros išteklių rinkos kainos turėtų būti grindžiamos ilgalaike ribinėmis gamybos sąnaudomis.

Žaliavos skiedros gamybai paruošimas. Tai sudėtingiausias ir daugiausia problemų keliantis biokuro ruošos etapas. Skiedros gamybai gali būti naudojama tam tikra iš miško kirtimų ištraukiamos medienos dalis, kuri neturi paklausos kaip padarinė mediena. Šiuo atveju ištraukimo sąnaudos paprastai yra įskaičiuojamos į padarinės medienos savikainą. Kadangi šiame tyrime keliamas uždavinys ištirti skiedros gamybos padidavimo galimybes iš miške tradiciškai paliekamų biomasės atliekų vykdant pagrindinius ir tarpinius kirtimus. Čia analizuojamas bendriausias žaliavos paruošimo variantas, apimantis medienos iškirtimą, jos surinkimą bei ištraukimą iki aikštelių, skirtų skiedros gamybai, būdingas ugdomuosiuose kirtimuose.

Tokios veiklos ilgalaičių ribinių sąnaudų (*IRK*) analizei reikia žinoti naudojamo technologinio proceso bei kapitalo sąnaudas. Atlikti tyrimai rodo, kad medienos atliekų (žabų) savikaina (*ZRK*) skiedros gamybos aikštelėje labiausiai priklauso nuo miško ploto vienetu susidarancių atliekų kiekio (tankio) (*AT*) ir vidutinio atstumo iki smulkinimo aikštelės (*ISA*). Miškininkų tyrimų rezultatus, pasitelkus jų naudojamus atliekų ištraukimo iš miško atstumus [21], pakankamu tikslumu galima aprašyti tiesine lygtimi:

$$ZRK = 60,18 - 0,0545 \cdot AT + 0,0218 \cdot ISA; \quad (19)$$

čia *AT* – 1 ha plote susidarancių atliekų tūris m³;

ISA – vidutinis atstumas iki smulkinimo aikštelės m.

Šios lygties pagrindu gauti rezultatai, palyginti su miško kirtimo atliekų žaliavos rinkos kaina (*RK*), pateikti 6 pav., rodo, kad biokuro žaliavos ištraukimas esant mažesniai kaip 10 m³/ha atliekų tankiui ekonomiškai nėra naudingas.

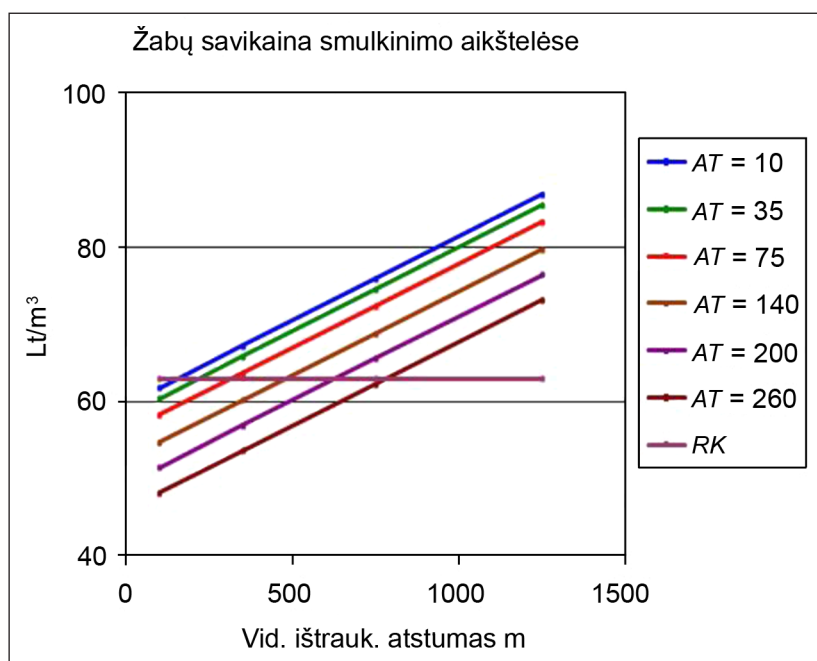
Kirtimo atliekų ištraukimas yra nuostolingas, kai jų savikaina viršija dabartinę rinkos kainą. Savivaldybės turėtų disponuoti informacija apie jų teritorijoje esamų miško atliekų susidarymo vietas ir jų charakteristikas, kad galėtų taikyti priemones, skatinančias geresnį jų panaudojimą.

Skiedros gamyba. Skiedros gamybos *IRK* analizei naudoti miškininkų paskelbti duomenys. Skaičiavimai atlikti 20 tūkst. m³/metus kapotinės skiedros gamybos vienetui (įmonei). Tokios įmonės pagrindiniai techniniai ir ekonominiai rodikliai buvo išsamiai analizuoti Švedijos nacionalinės miškų ūkio valdybos bei Miškų ir saugomų teritorijų departamento prie LR Aplinkos ministerijos dvišaliame projekte „Medienos panaudojimo kurui plėtra Lietuvoje“ [25].

Čia apsiribojama skiedros gamybos *IRK* analize, remiantis minėtame projekte pateiktais sprendimais. Tokiai įmonei reikalingos įrangos kapitalo sąnaudų skaičiavimas žaliavos ištraukimo ir jos smulkinimo operacijoms pateiktas 5 lentelėje, o eksploatacijos sąnaudos – 6 lentelėje.

Skačiavimai parodė, kad galimi rezervai biokuro sąnaudų mažinimui slypi atliekų ištraukimo iš miškų operacijoje (7 pav.).

Sąlyginai pastovias eksploatacijos sąnaudas sudaro darbuotojų atlyginimas ir socialinio draudimo mokesčiai



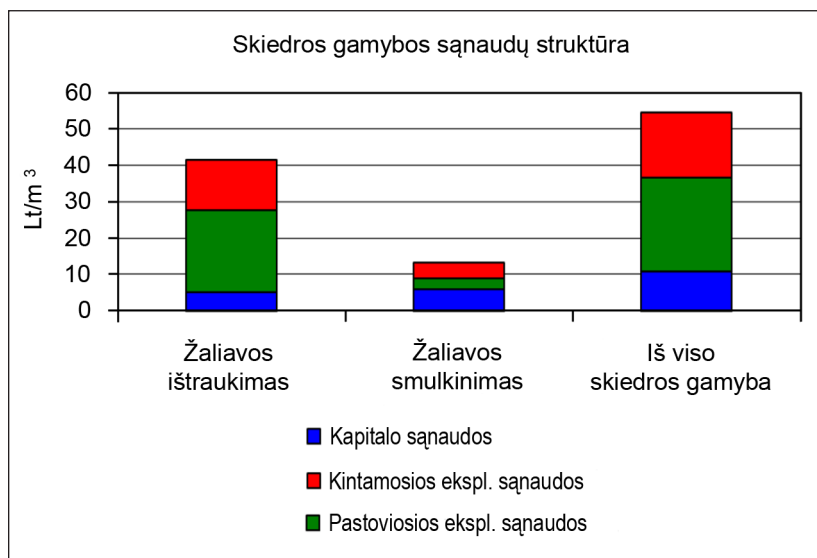
6 pav. Žaliavos ruošos sąnaudų atliekų tankio ploto vienetu *AT* [m³/ha] ir vidutinio ištraukimo atstumo *ISA* [m] priklausomumas. *RK* – dabartinė žaliavos rinkos kaina smulkinimo aikštelėje

5 lentelė. Kapitalo sąnaudos skiedros gamybai jaunuolynų ugdymo kirtimuose

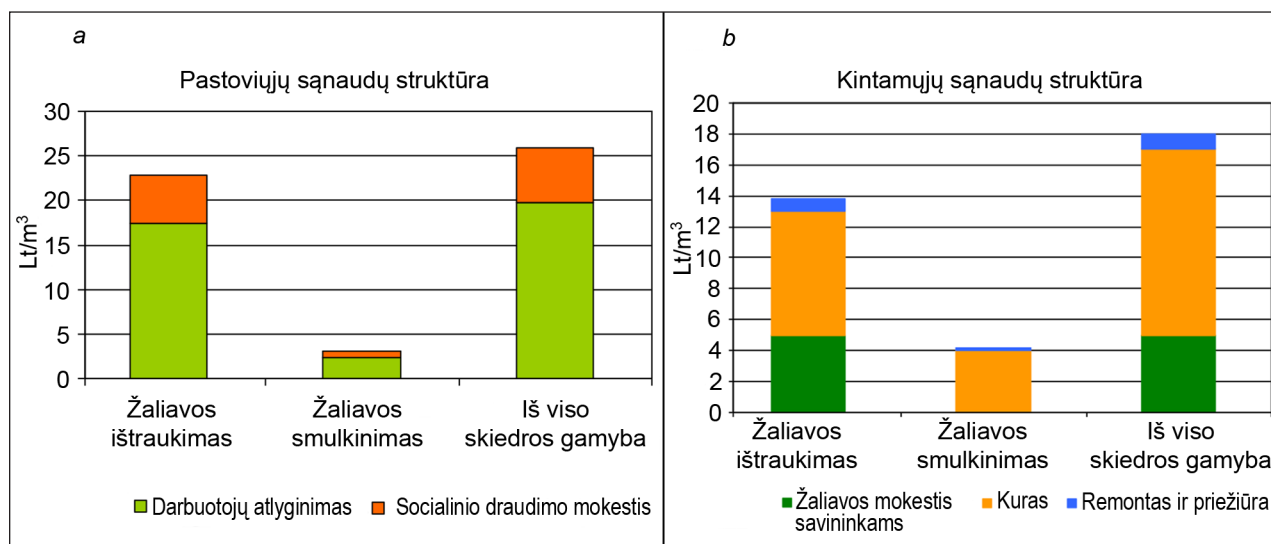
Nr.	Kapitalo sąnaudos žaliavos ištraukimui ir smulkinimui jaunuolynų ugdymo kirtimuose	Sąnaudų sandai									
		Investicijos 1, t. Lt	Trukmė 1, m	Kapitalo atstatymo faktorius 1	Kapitalo kaštai 1, t.Lt/metus	Kapitalo kaštai 1 Lt/m ³	Investicijos 2, t. Lt	Trukmė 2, m	Kapitalo atstatymo faktorius 2	Kapitalo kaštai 2, t.Lt/metus	Kapitalo kaštai 2, Lt/m ³
1.	Kapoklė BRUKS 604 CT	0	10	0,163	0		350	10	0,163	56,96	
2.	Traktorius K-700	0	10	0,163	0		210	10	0,163	34,18	
3.	Manipulatorius Loglift F 20 L	0	5	0,264	0		89	5	0,264	23,48	
4.	Traktorius MTZ-82 (2 vnt.)	108,5	5	0,264	28,62		0	5	0,264	0	
5.	Vilkikas Weimer WE-8 (2 vnt.)	266	5	0,264	70,17		0	5	0,264	0	
	Iš viso kapitalo sąnaudų	374,5			98,79	4,94	649			114,6	5,731

6 lentelė. Eksploatacijos sąnaudos biomasės ištraukimui ir smulkinimui jaunuolynų ugdymo kirtimuose

Nr.	Eksploatacijos sąnaudos ištraukimui ir smulkinimui jaunuolynų ugdymo kirtimuose	Sąnaudų sandai					
		Metinės sąnaudos tūkst. Lt			Santykinės sąnaudos Lt/m ³		
		Ištraukimo sąnaudos	Smulkinimo sąnaudos	Suminės gamybos sąnaudos	Ištraukimo sąnaudos	Smulkinimo sąnaudos	Suminės gamybos sąnaudos
1.	Pastoviosios eksploatacijos sąnaudos	455,9	62,88	518,8	22,79	3,144	25,94
2.	Darbuotojų atlyginimai	348	48	396	17,4	2,4	19,8
3.	Socialinis draudimas	107,9	14,88	122,8	5,394	0,744	6,138
4.	Kintamosios eksploatacijos sąnaudos	276	84	360	13,8	4,2	18
5.	Žaliavos mokestis savininkams	100	0	100	5	0	5
6.	Kuras	160	80	240	8	4	12
7.	Remontas ir priežiūra	16	4	20	0,8	0,2	1
8.	Iš viso sąnaudų	830,7	261,5	1092	41,53	13,07	54,61
	Prielaidos						
9.	Vidutinis mėnesio atlyginimas Lt/mėn.	2 000	2 000	2 000			
10.	Darbuotojų skaičius	14,5	2	16,5			
11.	Dyzelinio kuro kaina Lt/l	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
12.	Dyzelinio kuro sąnaudos tūkst. l	45,71	22,86	68,57	2,286	1,143	3,429
13.	Dyzelinio kuro tankis kg/l	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
14.	Dyzelinio kuro sąnaudos svorio vnt. (t)	41,14	20,57	61,71	2,057	1,029	3,086
15.	Dyzelinio kuro sąnaudos energ. vnt. (kWh/m ³)				24,44	12,22	36,66
16.	Dyzelinio kuro indėlis kWh/MWh				4,857	2,428	7,2858



7 pav. Skiedros gamybos sąnaudų struktūra



8 pav. a) Pastoviųjų sąnaudų struktūra ir b) kintamųjų sąnaudų struktūra

(8 pav.). Didžiausios išlaidos susidaro ištraukiant žaliavą. Galima pažymėti, kad šiuos darbus gali dirbti ir žemos kvalifikacijos darbuotojai. Būtent čia galima savivaldybių iniciatyva įdarbinant bedarbius ir t. t.

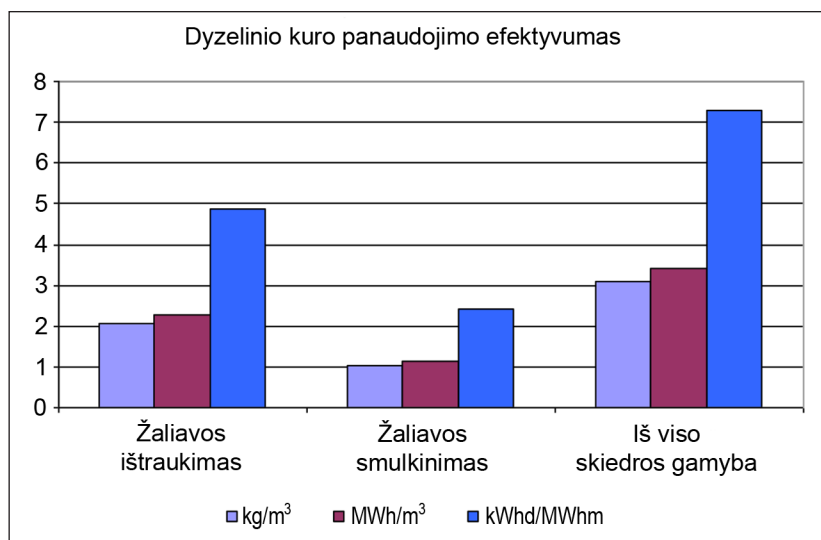
Pagrindinė kintamųjų sąnaudų dedamoji yra išlaidos kurui (8 pav.). Žaliavos mokestis galėtų paskatinti privačių miškų savininkus surinkti medienos atliekas. Atkreiptinas dėmesys, kad ištraukiant miško atliekas sunaudojama nemažai dyzelinio kuro. Kintamosios sąnaudos galėtų būti sumažintos taikant kurui mokesťines lengvatas.

Dyzelinio kuro naudojimo biokuro gamybai efektyvumas nėra didelis (9 pav.). Tai tampa svariu veiksniu plečiant medienos kuro ruošą jaunuolynuose, kur mažas atliekų tankis ir didelis jų ištraukimo atstumas. Ši problema galėtų būti sprendžiama jau sodinant miškus (numatant kelius įvažiuoti efektyvesnei technikai).

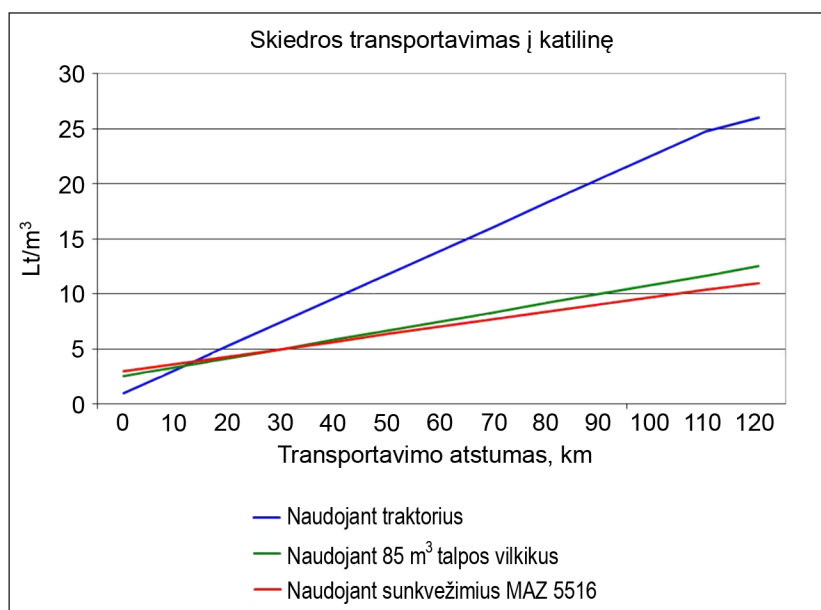
Skiedros transportavimo į katilines sąnaudas lemia ne tik atstumas nuo skiedros gamybos vietos, bet ir naudojama technika (10 pav.). Šios sąnaudos yra reikšmingos esant didesniai kaip 20 km atstumui nuo gamybos vietos ir sudaro per 10 % savikainos transportuojant didesniu kaip 40 km atstumu.

Atkreiptinas dėmesys, kad šias sąnaudas būtų galima sumažinti numatant tarpines skiedros saugojimo aikštes rajono teritorijoje. Taip būtų pagerintas skiedros pristatymas vartotojams (pagal poreikį).

Reikia pažymėti, kad nustatytos skiedros gamybos sąnaudos 2010 m. kainomis ir sąnaudomis yra mažesnės už dabartinę rinkos kainą. Sąnaudos galėtų būti sumažintos geriau planuojant darbus savivaldybių lygiu (pagal Nacionalinę programą) ir panaudojant turimus išteklius.



9 pav. Dyzelinio kuro sąnaudų natūriniais ir energijos vienetais palyginimas su medienos kuro verte



10 pav. Skiedros transportavimo sąnaudos naudojant įvairias transportavimo priemones

IŠVADOS

Naudojantis apibendrintais miškų tyrimų ekspertų, miškotvarkos technologijų ir miškų statistikos duomenimis, pateiktame tyrime sukurti biokuro gamybos išteklių potencialo aplinkosauginio ir ekonominio vertinimo metodika bei atitinkamas modelis, kurie galėtų būti naudojami kaip įrankis savivaldybių darnaus biokuro energetikos ūkio planavimui, įvertinantis tiek turimus išteklius savivaldybės teritorijoje, tiek ir biokuro gamybos sąnaudas.

Tyrimas, atliktas naudojantis sukurta metodika ir modeliu, parodė, kad potencialių medienos atliekų panaudojimą padidinus 10 % (tai nekenkia darniam miškų tvarkymui tiek bioįvairovės, tiek miško išteklių naudojimo

efektyvumo požiūriu), kapotinės skiedros gamybą būtų galima padidinti 1 mln. m³/metus ir pagaminti dvigubai daugiau medienos skiedros nei gaminama dabar.

Priėmus prielaidas, kad biokurą sudaro miško kirtimo atliekos, malkinė mediena, o nesant kitos paklausos arba esant tinkamai kainai kurui galima panaudoti ir popiermalkes bei plokščių gamybai tinkamą medieną, tyrimas leido įvertinti, kad biokurui būtų galima panaudoti apie 780 tūkst. m³/metus kirtimo atliekų, 1 660 tūkst. m³/metus malkinės medienos, 1 230 tūkst. m³/metus popiermalkių ir 600 tūkst. m³/metus plokščių medienos. Iš viso tai sudarytų apie 4 250 tūkst. m³ biokuro per metus.

Atliekant ekonominio vertinimo tyrimus nustatyta, kad svarbiausi veiksniai, lemiantys biomasės panaudo-

jimą biokuro gamybai, yra biomasės ištraukimo iš miškų atstumas, 1 ha plote susidarančių atliekų tūris ir transportavimo į katilines atstumas. Biokuro gamybos grandinėje biomasės ištraukimo iš miškų operacijos sąnaudos sudaro apie 70 % medienos skiedrų gamybos sąnaudų. Biokuro transportavimo į katilines sąnaudos atsižvelgiant į naudojamos technikos našumą ir kuro vartojimą padidina sąnaudas >10 % (transportuojant daugiau kaip 40 km atstumu).

Gauta 2013 05 15
Priimta 2013 07 05

Literatūra

1. Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas. 2011 m. gegužės 12 d. Nr. XI-1375.
2. Country Report: Lithuania. The European Renewable Energy Study. Kaunas: LEI, 1994.
3. Review of Lithuania's Own Energy Resources and the Scope for Utilizing them for Energy Purposes. EK PHARE projekto ataskaita. Lahmeyer International and Cowi Consult. Vilnius, 1994.
4. Lietuvos vietiniai energijos ištekliai. PHARE projekto galutinė ataskaita. Cowi-Allplan-Etna, 1997.
5. Atsinaujinančiųjų ir vietinių energijos išteklių naudojimo didinimas Lietuvoje. Baigiamoji ataskaita. Danish Energy Management A/S, Environmental Related Energy Sector Programme – Lithuania, 2003 m. gruodis.
6. Renewable Energy Policy Review: Lithuania. EC Altener Programme. LEI – EREC, May 2004.
7. Miško kuro ruošos integravimas į miškų ūkį. Miškininkystės, technologijų ir miško kuro ruošos ekonominių tyrimų Lietuvoje rezultatai. Lietuvos–Švedijos projekto ataskaita. Vilnius: Lututė, 2003.
8. Lietuvos miškų ūkio statistika 2012. Valstybinė miškovtarkos tarnyba. Kaunas, 2013.
9. Nacionalinės biomasės ir biokuro gamybos ir naudojimo technologijų platformos galimybių studija. Vilnius, 2006.
10. Tebėra A. Medienos naudotinos kurui ištekliai ir jų apskaita. INTERREG III B projekto BBN seminaro pranešimas. LŽŪU, 2005-11-24.
11. Medynų kirtimo atliekų apskaičiavimo modelis. Ataskaita (vad. A. Tebėra). Girionys: KMAIK, 2007. 38 p.
12. Lietuvos atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo skatinimo veiksmų planas 2010–2020 m. Galutinė ataskaita. Lietuvos biomasės energetikos asociacija LITBIOMA. Vilnius, 2008.
13. Saladis J., Armolaitis K., Gedminas A. Miško kirtimų atliekų išteklių ir jų paėmimo iš miško ekologinės rizikos įvertinimas ir rekomendacijų parengimas. Mokslinio-tiriamąjo darbo ataskaita. Lietuvos nepriklausomų medienos matuotojų asociacija. Akademija, 2008.
14. Nacionalinės biomasės ir biokuro gamybos ir naudojimo technologijų platformos strateginių tyrimų planas, 2007. 57 p.
15. Kuliešis A. Lietuvos miškų ištekliai ir naudojimo perspektyvos. Medienos atliekų perdirbimas ir panaudojimas kurui. Vilnius, 1999. P. 11–20.
16. Lietuvos atsinaujinančių energijos išteklių naudojimo skatinimo veiksmų planas 2010–2010 m. Taikomojo mokslinio tyrimo ataskaita. Vilnius: Lietuvos biomasės energetikos asociacija LITBIOMA, 2008. 215 p.
17. Mizaraitė D., Mizaras S., Sadauskienė L. Medienos kuro sunaudojimo kaimo vietovėse tyrimas. Baigiamoji ataskaita, 2009.
18. Gedminas A., Ozolinčius R. Kaip ir kokie miškai auginami malkoms, arba energetinė miškininkystė. Inovatyvūs mokymo(si) metodai ir naujausios technologijos gamtos mokslų bakalauro rengimui. Lietuvos miškų institutas, 2007. http://gamta.vdu.lt/bakalaurai/pop_straipniai/miskai_malkoms/miskai_malkoms.html
19. Lietuvos energetika 2011. Energetikos statistikos leidinys. ISSN 1822-5268. Lietuvos energetikos institutas, 2012.
20. FAO Global Forest Resources Assessment 2005. Lithuania: Country Report.
21. Sadauskienė L., Mizaras S., Mizaraitė D., Aleinikovas M. Medienos kuras: ištekliai, ruošos sąnaudos ir naudojimo katilinėse efektyvumas. Miškininkystė. 2009. Nr. 2(66).
22. Kenstavičius J. Miškų resursai, jų paruošos, poreikiai ir būklės gerinimo problemos. Kaunas, 1989. 89 p.
23. Medienos atliekų ištekliai ir jų panaudojimo galimybės. (Darbo vad. J. Grigaliūnas). Lietuvos miškų instituto ataskaita. Girionys, 1996. 38 p.
24. Rutkauskas A. Lietuvos miškai bei miško kirtimo atliekų ištekliai kuro ruošai. Pranešimas konferencijoje „Biokuras kaip energijos šaltinis Baltijos regione“. Vilnius, 2005.
25. Baltrušaitis A., Anderson L. Biokuro panaudojimo Lietuvoje galimybės. Lietuvos–Švedijos bendro projekto galutinė ataskaita. Vilnius, 2000. 132 p.
26. Lynikas M., Palicinas M., Tebėra A., Mozgeris G., Radevičiūtė A., Vrubliauskas S., Dzenajavičienė E. F. Modeling the amount of cutting residues and timber volumes suitable for fuel. Proceedings of the Third International Scientific Conference “Rural Development 2008”, Lithuanian University of Agriculture, Volume 3, Book 2. P. 294–301.

Eugenija Farida Dzenajavičienė, Vaclovas Kveselis,
Matas Tamonis

MODELLING OF THE POTENTIAL AND PRODUCTION FOR FOREST BIOMASS RESOURCES

Summary

Energy generation using renewable energy sources is one of the most significant priorities in the energy policy of the European Union. EU attempts to mitigate negative impact on environment from the energy sector by reduction of CO₂ emissions as well as reduce economic dependence on fuel import from third-party countries. Biomass fuel is one of renewable energy sources the use of which stimulates development of local economics and creates new jobs. Besides, the use of RES forms possibilities to ensure security of energy supply via diversification of energy sources.

There are still no reliable tools – methods and models – for assessment of RES potential and planning investments on the basis of marginal biomass fuel production costs as well as for planning investments in the heat supply sector based on the principles of sustainable energy planning and implementing modern technologies in autonomous and district heating sectors.

In the presented study a method and a respective model was developed for the assessment of biomass production potential. Modelling showed that extraction up to 10% of potential wood waste could increase wood biomass production by 1 million m³/year and double the production of wood chips. The article shows that the total solid biomass potential could be appr. 4 250 thousand m³/year. Biomass fuel production potential assessment methodology linking potential biomass resources available for biofuel production in the area of a specific municipality with forest felling and management volumes as well as investigations of biofuel production and transportation costs show that biomass density / 1 ha of forest area, extraction and biofuel transportation distance to the boiler-houses are the main factors influencing the use of biofuel.

Key words: biomass, modelling, planning, production costs

Эугения Фарида Дзенаевичене, Вацловас Квеселис,
Матас Тамонис

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА И ПРОИЗВОДСТВА ЛЕСНОГО БИОТОПЛИВА

Резюме

Производство энергии, из обновляющихся источников – один из приоритетов энергетической политики Евросоюза (ЕС). ЕС стремится снизить экономическую зависимость от импортируемого топлива из третьих стран, а также отрицательное воздействие энергетики на окружающую среду за счет сокращения выбросов CO₂. Биотопливо – один из возобновляемых источников энергии, использование которого стимулирует экономический рост и создает рабочие места. Кроме того, использование местного топлива повышает надежность энергоснабжения.

До сих пор не разработаны надежные инструменты – методики и модели – для оценки потенциала и планирования инвестиций для освоения возобновляемых источников на основе издержек производства биотоплива, а также планирования инвестиций в секторе теплоснабжения, основанного на принципах гармоничного планирования и используя современные технологии для индивидуального и централизованного теплоснабжения.

В этой работе представлена методология оценки потенциала биомассы для производства биотоплива и соответствующая численная модель. Моделирование показало, что при увеличении доли использования потенциальных отходов на 10 %, производство древесной щепы может быть увеличено на 1 милл. м³ в год, т. е. создает возможность производить в два раза больше щепы, чем производится сейчас. Показано, что весь потенциал составляет до 4.250.000 м³ биотоплива / год. Методика оценки потенциала биотоплива, связывающая потенциальные ресурсы биомассы на конкретной территории с объемом лесозаготовок и лесопользования, и исследование производственных и транспортных расходов биотоплива показали, что наиболее важными факторами в использовании лесной биомассы являются расстояние вытаскивания отходов из леса, плотность отходов на 1 га, а также потребление транспортного топлива, зависимо от расстояния транспортировки биотоплива в котельню.

Ключевые слова: биотопливо, моделирование, планирование, расходы производства