



BIODEGALŲ GAMYBA LIETUVOJE: PERSPEKTYVINĖS RAIDOS MODELIAVIMAS

Vidas Lekavičius, Dalius Tarvydas, Arvydas Galinis

Lietuvos energetikos institutas

Anotacija

Pastaraisiais metais smarkiai išaugus biodegalų vaidmeniui ir Lietuvai prisiėmus išpareigojimus dėl atsinaujinančių išteklių panaudojimo transporte mastų, atsirado aiškus poreikis detaliai analizuoti biodegalų gamybos sektoriaus raidos bei naujų technologijų optimalaus integravimo galimybes. Šiame metodologiniams modeliavimo aspektams skirtame straipsnyje nagrinėjami mokslinėje literatūroje publikuoti biodegalų perspektyvinės raidos modeliavimo principai, apžvelgiama esama biodegalų gamybos situacija Lietuvoje ir pristatomas matematinis modelis, skirtas biodegalų gamybos perspektyviam modeliavimui.

Šis modelis yra pagrįstas sąnaudų minimizavimu (biodegalų gamyba ekonomiškai efektyviausiu būdu) ir apima empiriškai įvertinamus ryšius tarp naftos bei biodegalų žaliavų kainos. Modelyje sudarytos galimybės atspindėti esminius biodegalų gamybos procesus, kurie turi reikšmingos įtakos ekonominiams rodikliams. Dėl lanksčios modelio struktūros yra galimas biodegalų gamybos šalutinių produktų skirtingų panaudojimo alternatyvų matematinis modeliavimas. Be to, modelyje naudojami principai leidžia nesudėtingai analizuoti ir pažangesnių biodegalų platesnį panaudojimą bei konkurencingumą. Toks tiek techninius, tiek ekonominius faktorius apimantis modelis įgalina sudaryti pakankamai realistišką biodegalų gamybos vaizdą ir analizuoti biodegalų gamybos perspektyvinę raidą įvertinant įvairius galimus scenarijus.

PAGRINDINIAI ŽODŽIAI: biodegalai, bioetanolis, biodyzelinas, atsinaujinantys energijos ištekliai, matematinis modeliavimas, technologijų optimalus integravimas.

Įvadas

Biodegalai apibrėžiami kaip skystasis ar dujinis transporto kuras, pagamintas iš biomasės. Šiuo metu transporte kur kas labiau paplitę skysto pavidalo biodegalai, o biodujos dažniau naudojamos šilumos ar elektros gamybai. Biodegalų vaidmens didėjimą lemia įvairios aplinkybės: darnios plėtros idėjų populiarėjimas, klimato kaitos mažinimo iniciatyvos, iškastinių energijos išteklių brangimas ir kt.

Priėmus Europos Parlamento ir Tarybos direktyvą 2009/28/EB dėl skatinimo naudoti atsinaujinančių išteklių energiją Lietuva, kaip ir kitos Europos Sąjungos (ES) narės, išpareigojo iki 2020 metų ženkliai padidinti atsinaujinančių energijos išteklių (AEI) vartojimą. Lietuvai nustatytas AEI dalies bendrame galutiniame energijos suvartojime planinis rodiklis yra 23 proc., o AEI dalis transporto sektoriaus galutiniame suvartojime turės būti ne mažesnė kaip 10 proc. Atskiرو planinio rodiklio transporte priėmimas rodo, kad šiam sektoriui skiriamas ypatingas dėmesys.

Atsinaujinantys energijos ištekliai, ypač biomasė, gali būti panaudojami energetikoje įvairiais būdais. Atsižvelgiant į tai svarbu užtikrinti, kad direktyvoje numatytų tikslų įgyvendinimas vyktų su kuo mažesnėmis sąnaudomis ir būtų naudingas visuomenei. Sąnaudų klausimai šiuo atveju yra itin aktualūs, kadangi svarbus vaidmuo platesnio AEI vartojimo tikslų įgyvendinime tenka subsidijoms ir kitoms ne rinkos instrumentais pagrįstoms valstybinio skatinimo priemonėms: tik detali įvairių scenarijų analizė gali sudaryti prielaidas efektyviam šių priemonių taikymui.

Energetikos planavimui, o taip pat ir atsinaujinančių išteklių panaudojimo geriausių kryptių paieškai yra kuriami specialūs matematiniai modeliai. Biodegalų gamybos perspektyvinės raidos atspindėjimas energetikos planavimui naudojamuose modeliuose turi nemažai išskirtinumų. Skirtingai nei tradicinėje energetikoje, biodegalų produkcija nėra homogeniška, o jai gaminti gali būti naudojama didelė žaliavų ir gamybos procesų įvairovė. Be to, biodegalų gamyba yra glaudžiai susijusi su kitomis ūkio šakomis (pavyzdžiui, žemės ūkiu), todėl modeliuose reikia numatyti galimybes įvertinti šiuos ryšius. Papildomų iššūkių kelia naujos kartos, pažangesnių skystųjų biodegalų atsiradimas. Kol kas šie biodegalai nėra paplitę, tačiau yra reikalinga parengti universalius analizės įrankius, skirtus naujausių technologijų ypatumų įvertinimui, siekiant optimalaus jų integravimo.

Šiame straipsnyje pristatomo tyrimo tikslas – sukurti biodegalų gamybos Lietuvoje perspektyvinės raidos analizei skirtą modelį.

Tyrimo uždaviniai:

- išskirti ir išnagrinėti mokslinėje literatūroje pateikiamus biodegalų gamybos raidos modeliavimo požiūrius;
- išanalizuoti biodegalų gamybos Lietuvoje raidą ir gamybos procesus;
- identifikavus esminius veiksnus, turinčius ar potencialiai galinčius turėti įtakos biodegalų gamybos raidai Lietuvoje, pristatyti jos analizei skirtą modelį.

Tyrimo tikslas bei uždaviniai apsprendė ir straipsnio struktūrą: pirmiausiai apžvelgiami biodegalų gamybos raidos analizei skirtos matematinio modeliavimo

konceptijos, įvertinami jų privalumai ir trūkumai. Tuomet aptariama esama biodegalų gamyba Lietuvoje, taikomos technologijos, naudojamos žaliavos ir šalutinių produktų panaudojimas, o trečioje darbo dalyje aprašomas siūlomas biodegalų gamybos Lietuvoje perspektyvinės raidos analizei skirtas modelis.

Naudojant šiame straipsnyje aprašomą modelį bei siūlomus modeliavimo sprendimus tolesniuose tyrimuose bus galima nustatyti racionaliausias biodegalų gamybos raidos kryptis ir ateities biodegalų gamybos technologijų integravimo galimybes. Tokia informacija yra labai aktuali tiek priimant politinius sprendimus dėl biodegalų skatinimo bei rinkos priežiūros priemonių, tiek ir verslininkams apsisprendžiant investuoti į vieno ar kito tipo biodegalų gamybą.

Tyrimė naudojami mokslinės literatūros, teisės aktų ir kitos prieinamos informacijos analizės, statistinių duomenų koreliacinės ir regresinės analizės bei matematinio modeliavimo metodai.

Analitiniai požūriai į biodegalų gamybos modeliavimą

Įvairius su biodegalų gamybos ir naudojimo raidos planavimu susijusius tyrimus atlieka Lietuvos ir užsienio mokslininkai. Mokslinėje literatūroje biodegalų gamybos klausimai nagrinėjami skirtingais aspektais, tačiau dažnai vyrauja techninis požūris, kai bandoma patobulinti technologinius procesus, neskiriant pakankamo dėmesio jų ekonominiams rodikliams. Vis dėlto pastebima, kad prasidėjus vadinamajam „biodegalų bumui“ ir juos ėmus laikyti potencialiai komerciškai patrauklia iškastinio transporto kuro alternatyva, pagausėjo tyrimų, kuriuose vertinamos ir ekonominės biodegalų charakteristikos. Būtent ekonominių veiksmų analizę galima laikyti vienu iš esminių, nors ir ne būtinų, perspektyvinės raidos modeliavimo aspektų.

Sąlyginai galima išskirti tris analitinių požūrių į biodegalų gamybos raidos modeliavimą grupes: lyginamasis (nagrinėjamos atskiros technologijos arba gamyklos), sistemos veikimo imitavimo (analizuojama viso biodegalų sektoriaus raida) ir kompleksinis (apimantis dar platesnį visos ekonomikos kontekstą, dažniausiai naudojant bendrosios ekonominės pusiausvyros modeliavimą).

Matematinio aparato prasme pats paprasčiausias požūris yra lyginamasis, kai biodegalų gamybos ekonominiai tyrimai apsiriboja vienos ar kitos biodegalų rūšies techninio-ekonominio įvertinimu. Net jei lyginimas su kitomis alternatyvomis nėra akcentuojamas kaip tyrimo tikslas, šis požūris leidžia nustatyti galimą tam tikrų biodegalų konkurencingumą esamoje rinkos situacijoje arba trumpo laikotarpio perspektyvoje.

Tarp tokių tyrimų galima paminėti J. Murphy ir N. Power darbus (Murphy 2008; Power 2008), kuriuose pateikiami labai detalūs duomenys apie procesus ir sąnaudas Airijoje bei analizuojamos bioetanolio gamybos efektyvinimo galimybės, parenkant tinkamiausias žaliavas, o iš šalutinių produktų gaminant biodujas, užuot juos džiovinus ir pardavinėjus kaip pašarą. Tuo tarpu J. He ir W. Zhang (He 2011) koncentruojasi į pažangesnių biodegalų gamybą – etanolio gaminimą iš lignoceliuliozės termocheminiu būdu. Kitaip nei

tradicinis cukringųjų ir krakmolingųjų augalų fermentacijos procesas, šis būdas dar nėra paplitęs, todėl mokslininkai pirmiausiai sukuria ir specialia programine įranga simuliuoja bioetanolio gamybos procesą, o tada atlieka jo techninį ir ekonominį įvertinimą esant įvairiems gamyklos galingumams.

Prie palyginamojo požūrio tyrimų galima priskirti ir biodegalų gamybos tyrimus, pagrįstus gyvavimo ciklo analize. Šis metodas leidžia palyginti skirtingų technologijų ar gamybos procesų veikimą per visą jų gyvavimo ciklą, įvertinant ne tik ekonominius veiksmius, bet ir energijos vartojimą, anglies dvideginio išmetimus ir kitus aspektus. Pavyzdžiui, biodyzelino gamybos energijos suvartojimai Lietuvos sąlygomis (Janulis 2004) apima tiek energijos vartojimą auginant rapsus, tiek ir spaudžiant aliejų bei gaminant biodyzeliną.

Iš pateiktų pavyzdžių galima pastebėti, kad nors lyginamojo pobūdžio tyrimai neatspindi situacijos kompleksiskumo, paprastai jie pasižymi labai detalio vieno ar kito technologinio proceso analize ir suteikia daug esminių žinių labiau agreguotam, tačiau platesnius kontekstus apimančiam modeliavimui.

Realioje pasaulyje energetikos investiciniai projektai paprastai būna ilgalaikiai, todėl planuojant raidą būtina analizuoti ilgesnius laikotarpius, energetikoje veikiančių technologijų tarpusavio ryšius ir kitus veiksmius, kuriuos modeliuojant labai pasitarnauja kiti du analitiniai požūriai. Sistemos imitavimo požūris, kai modelyje daugiau ar mažiau agreguotai imituojamas energetinės sistemos veikimas, jau leidžia sumodeliuoti ir biodegalų gamybos technologijų interakciją. Šio pobūdžio modeliai dažnai yra optimizaciniai, kuriuose iš modelio duomenų bazėje aprašytų esamų ir ateityje galimų naujų technologijų aibės, atsižvelgiant į pasirinktus kriterijus (pavyzdžiui, minimalių sąnaudų kriterijų), išrenkama optimali technologijų aibė, galinti patenkinti atskirų energijos rūšių poreikius modeliuojamu laikotarpiu. Nors mažiausių sąnaudų kriterijus vyrauja optimizaciniuose modeliuose, priklausomai nuo modeliavimo tikslų kartais pasirenkami ir kiti kriterijai. Biodegalų atveju kaip relevantiškus optimizavimo kriterijus greta minimalių sąnaudų galima paminėti ir maksimalų energijos kiekį (pavyzdžiui, iš tam tikro žemės ploto) bei minimalias šiltnamio dujų emisijas (Jupesta 2011) gamybos procese arba gyvavimo cikle.

Sistemos imitavimo požūris leidžia įtraukti į modelį daug daugiau detalių, ir įgalina modeliuoti daug realesnį nagrinėjamos sistemos veikimą. Lietuvos energetikos institute yra sukurta optimizacinių modelių, kuriuose simuliuojams Lietuvos, o taip pat ir kaimyninių šalių energetikos sistemų veikimas. Vis dėlto kol kas daugumoje energetikos sistemų modelių biodegalų gamyba atspindima nepakankamai detalio.

Kaip gerą biodegalų gamybos optimizacinio modelio pavyzdį galima paminėti Europai skirtą BioTrans modelį, kuris apima tiek pirmos kartos, tiek ir pažangesnius biodegalus. Be to, BioTrans ypač daug dėmesio skiriama technologijų vystymosi modeliavimui, mat daugelis biodegalų technologijų yra naujos ir turi didelį sąnaudų mažėjimo bei techninių parametrų gerėjimo potencialą, kurio išnaudojimas priklauso ir nuo endogeninių veiksmų (pvz., gamybos įranga pinga didėjant jos diegimo mastams). BioTrans modelis simuliuoja Europos

biodegalų poreikių patenkinimą ir apskaičiuoja, kiek ir kokių biodegalų reikia gaminti, kad minėti poreikiai būtų patenkinami mažiausiomis sąnaudomis (de Wit 2010).

Jeigu optimizavimas vykdomas pagal mažiausių sąnaudų kriterijų, ekonomine prasme jis atitinka modeliuojamos konkurencinės rinkos pusiausvyros paiešką. Būtent apsiribojimas modeliuojama rinka (dalinės pusiausvyros principas) ir ryšių su kitomis ūkio šakomis nevertinimas gali būti laikomas svarbiausiu šios metodologinės prieigos trūkumu. Reikalas tas, kad biodegalų gamybos sektorių tere viena sudedamoji ekonomikos dalis, todėl biodegalų gamybos išaugimas ir žaliavų paklausos padidėjimas neišvengiamai daro įtaką jų kainai, o biodegalų brangimas arba teisiniai įpareigojimai vartoti tam tikrą jų kiekį, daro įtaką biodegalų paklausai.

Šiems ryšiams analizuoti naudojami bendrosios ekonominės pusiausvyros modeliai, kuriuose, skirtingai nuo dalinės pusiausvyros modelių, ieškoma ekonominės pusiausvyros visose rinkose ir gali būti realistiškiau vertinama tarptautinė prekyba. Mokslinėje literatūroje esama nemažai tyrimų, kuriuose analizuojama biodegalų gamyba, taikant būtent šio tipo modelius. Naudojant bendrosios pusiausvyros modelį nustatyta, kaip iškastinio kuro apmokestinimas veikia biodegalų plėtrą (Timilsina 2011), įvertinta ES nustatyto tikslo pasiekti 10 proc. lygį AEI transporto galutiniame suvartojime įtaka žemės ūkio produktų kainoms ir kitos ekonominės pasekmės (Kretschmer, Narita et al. 2009).

Dalies bendrosios pusiausvyros modelių trūkumas biodegalų gamybos raidos modeliavime yra tas, kad jie yra statiniai (t. y., vertina tik dvi pusiausvyros situacijas – prieš ir po modeliuojamo šoko). Dinaminės pusiausvyros modelių versijos jau pateikia rezultatus pamečiui, tad šio trūkumo neturi, tačiau jos irgi yra smarkiai agreguotos, su biodegalų gamyba susijusius sektorius vaizduoja tik kaip platesnio ekonominio konteksto dalį ir neatspindi visų technologijų arba dirbamos žemės naudojimo ypatybių, o kai kuriuose netgi nėra išskiriamos biodegalų rūšys (Kretschmer 2010). Sprendžiant šias problemas kuriami hibridiniai modeliai, kuriuose bandoma integruoti bendrosios pusiausvyros modelių kompleksiskumą ir imitacinių modelių detalumą, tačiau sudėtingi skaičiavimai reikalauja itin galingos kompiuterinės technikos, todėl būtina ieškoti priimtinių kompromisų tarp modelio detalumo ir skaičiavimams sugaištamo laiko.

Biodegalų gamyba Lietuvoje

Lietuvoje jau kurį laiką veikia keletas įmonių, gaminančių bioetanolį ir biodyzeliną (riebiųjų rūgščių metilo esterį). Informacija apie biodegalų gamybos pajėgumus pateikiama pirmoje lentelėje.

1 lentelė. Biodegalų gamybos pajėgumai Lietuvoje 2010 metais

Produktas	Tūkst. t/m	Tūkst. tne/m
Biodyzelinas (metilo esteris)	152	134
Bioetanolis	60	39

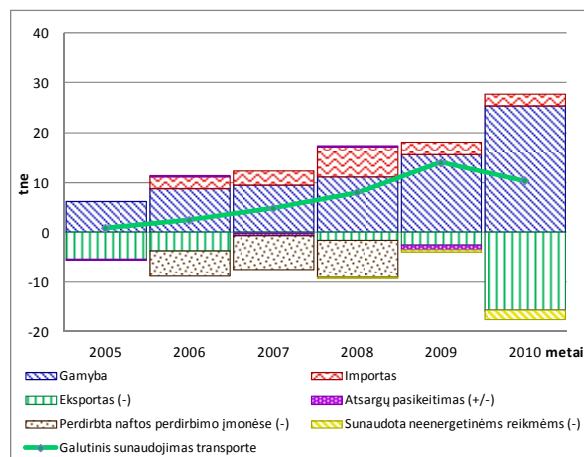
Šaltinis: LR žemės ūkio ministerijos duomenys, autorių skaičiavimai

1 lentelėje gamybos pajėgumas nurodytas tiek pagal produkcijos masę, tiek pagal energetinę vertę, mat energetinių matavimo vienetų (šiuo atveju – tonų naftos ekvivalento) naudojimas įgalina nesudėtingai palyginti duomenis. Stambiausi biodyzelino gamintojai yra UAB „Mestilla“ (Klaipėdos m. sav.) ir UAB „Rapsola“ (Mažeikių r. sav.), o bioetanolį gamina AB „Biofuture“ (Šilutės r. sav.) ir UAB „Kurana“ (Pasvalio r. sav.). Be to, įvairiose Lietuvos vietovėse esama ūkio subjektų, kurie užsiima aliejaus (pagrindinės biodyzelino žaliavos) spaudimu, o AB „ORLEN Lietuva“ iš bioetanolio cheminės sintezės būdu gamina etil-tret-butilerį (bio-ETBE), naudojamą benzinui gaminti.

Gana platus teritorinis gamintojų išsibastymas liudija apie pozityvią biodegalų gamybos įtaką darniai regionų plėtrai. Teigiamos įtakos turi ir tai, kad gali būti naudojamos vietinės žaliavos – aliejus biodyzelinui gaminti spaudžiamas iš rapsų, etanolis gaminamas iš kviečių, kvietrugių, rugių. Žinoma, įmonės veikia pagal ekonominę logiką ir esant palankesnėms kainoms dalį žaliavų (taip pat ir palmių aliejaus, kukurūzų) įsigyja užsienyje.

Skirtingų biodegalų rūšių gamybos apimtys priklauso ne tik nuo turimų pajėgumų, bet ir nuo situacijos rinkoje bei valstybės institucijų nustatomų privalomo maišymo reikalavimų. Šie reikalavimai reglamentuoja, kokią dalį vienos ar kitos rūšies degalų turi sudaryti AEI. Į Lietuvoje parduodamą benziną reikalaujama įmaišyti tam tikrą dalį bioetanolio arba bio-ETBE, o į dyzeliną – riebalų rūgščių metilo esterio (RRME), pagaminto iš augalinės kilmės aliejų ar gyvūninės kilmės riebalų.

Informacija apie bioetanolio gamybą, tarptautinę prekybą ir sunaudojimą 2005-2010 metais pateikiama 1 paveiksle.

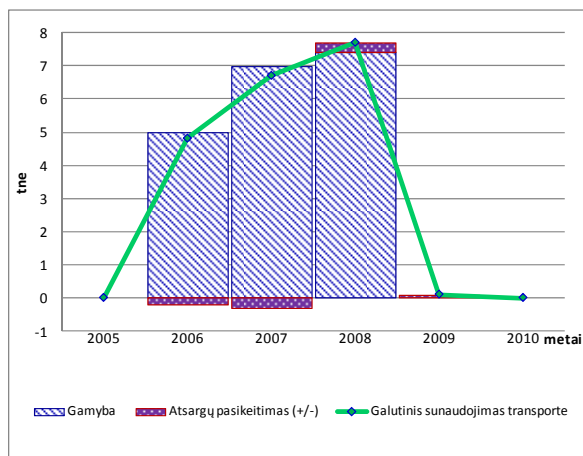


1 pav. Bioetanolio gamybos ir naudojimo Lietuvoje dinamika 2005-2010 metais, tne (Statistikos departamentas, 2007, 2009, 2011)

Kaip matyti iš 1 paveikslo, bioetanolio gamybos apimtys nuosekliai didėja. Ypač didelis šuolis pastebimas 2010 metais, kai pradėjo veikti UAB „Kurana“ bioetanolio gamykla. Beveik visais laikotarpiais tam tikras kiekis bioetanolio buvo importuojamas. Šis kiekis priklauso ne tik nuo vietinių gamybos pajėgumų, bet ir nuo sutarčių su pagrindiniais biodegalų pirkėjais. Pavyzdžiui, 2009-2010 metais AB „ORLEN Lietuva“ pirko etanolį ne tik iš AB „Biofuture“ bei

UAB „Kurana“, bet ir importavo iš Latvijos. Tuo tarpu vietiniai gamintojai perteklinę produkciją eksportuoja į kitas šalis. Eksporto apimtys ypač išaugo 2010 metais, kai padidėjo bendri gamybos pajėgumai, tačiau sumažėjo vartojimas vidaus rinkoje.

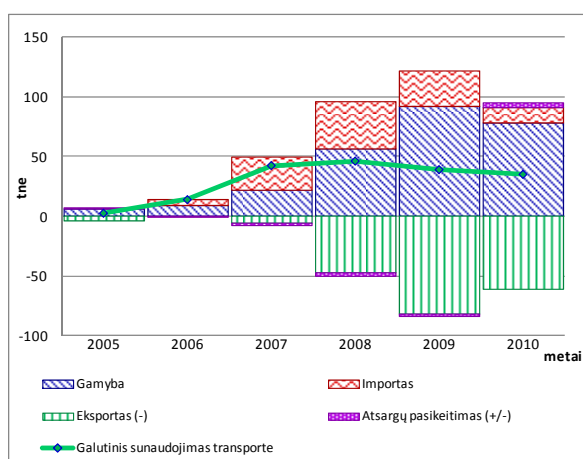
2006-2008 metais dalis etanolio buvo panaudojama bio-ETBE gamybai (2 pav.).



2 pav. Bio-ETBE (biodalis, pagaminta bioetanolio pagrindu) gamybos ir naudojimo Lietuvoje dinamika 2005-2010 metais (Statistikos departamentas, 2007, 2009, 2011)

2 pav. pateikiami bio-ETBE kiekiai apima tik biodalį, pagamintą bioetanolio pagrindu. Reali ETBE gamyba buvo gerokai didesnė, mat laikoma, kad bio-ETBE biodalis sudaro 37 proc., o kitą sudaro iškastinės žaliavos. Pagamintas bio-ETBE buvo naudojamas vietos rinkoje naudojamam benzinui su ETBE.

Šiuo metu Lietuvoje populiariausia biodegalų rūšis yra biodyzelinas, kuris naudojamas mišiniams su iškastiniu dyzelinu arba grynas. 3 paveiksle vaizduojama biodyzelino gamybos ir naudojimo dinamika.



3 pav. Biodyzelino gamybos ir naudojimo Lietuvoje dinamika 2005-2010 metais (Statistikos departamentas, 2007, 2009, 2011)

Nors nagrinėjamo laikotarpio pradžioje biodyzelino gamyba nesiekė 10 tne, kiekiai smarkiai išaugo UAB „Rapsoila“ paleidus naują esterifikacijos cechą ir Klaipėdos laisvojoje ekonominėje zonoje pastačius vieną

moderniausių Europoje rapsų metilo esterio gamyklą (UAB „Mestilla“). Kaip ir bioetanolio atveju, Lietuvos rinkoje parduodami vietinio biodyzelino kiekiai smarkiai priklauso nuo AB „ORLEN Lietuva“ politikos. Iš 3 pav. matyti, kad didelė dalis Lietuvoje pagaminto biodyzelino yra eksportuojama, o dalį vietinių poreikių tenkina importuotas biodyzelinas, kuris 2008 metais sudarė 85 proc. Lietuvos poreikio, o 2010 metais – jau tik 36 proc. Tokie tarptautinės prekybos biodegalais svyravimai ir aiškių tendencijų nebuvimas smarkiai apsunkina matematinio modeliavimo procedūras.

Biodegalų perspektyvinės raidos Lietuvoje modeliavimas

Lietuvos biodegalų gamybos rinkoje struktūra, kurioje šiuo metu veikia tik keletas gamintojų, sąlygoja labai „jautrią“ statistiką: dėl gamybos pokyčių vienoje įmonėje smarkiai pasikeičia nacionalinės biodegalų gamybos apimtys. Šiuo atveju „gryname“ bendrosios ekonominės pusiausvyros modelyje su smarkiai agreguotu biodegalų gamybos sektoriumi ir per elastingumo parametrus išreikštais sąryšiais nebūtų galima atspindėti dinamiškai besikeičiančios realios situacijos. Kita vertus, Lietuvos sąlygomis nėra aktualus ir kitas bendrosios pusiausvyros modelių privalumas, ypač būdingas daugiaregioniniams modeliams, – galimybė atspindėti užsienio rinkoms daromą įtaką. Biodegalų prekyba nėra ribojama sudėtingos infrastruktūros, juos palyginti nesunku gabenti didelius atstumus, o tiek Lietuvos vietinė rinka, tiek ir gamintojų esami bei tikėtini pajėgumai nėra tokie dideli, kad galėtų daryti pastebimai reikšmingą įtaką pasaulinei biodegalų rinkai.

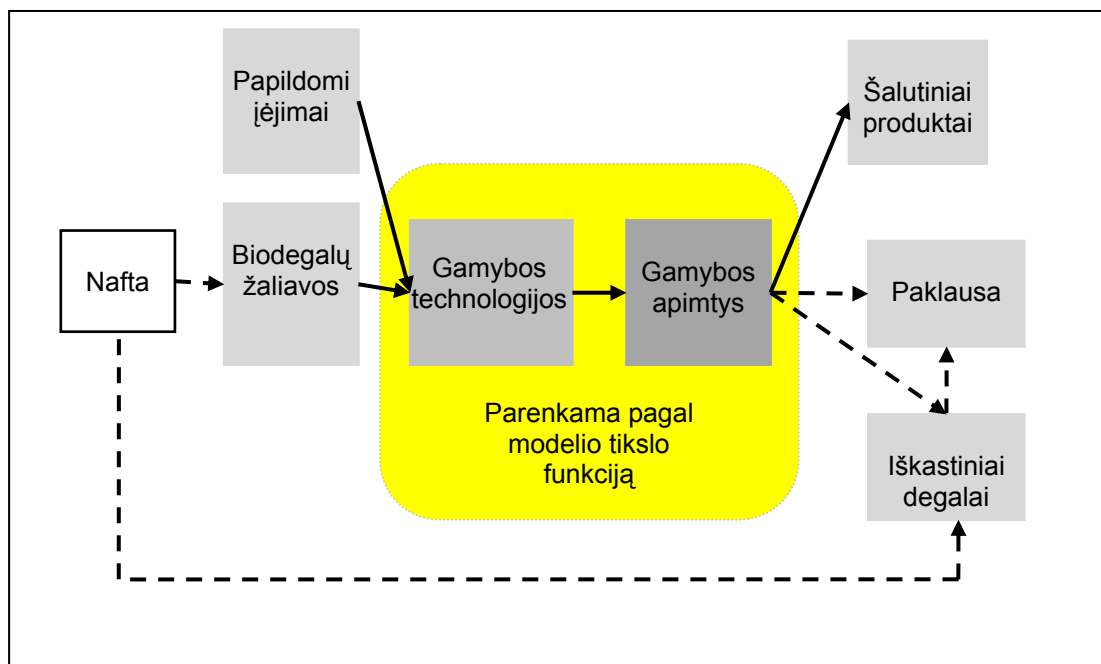
Bene svarbiausias argumentas, kodėl biodegalų gamybos analizei turėtų būti taikomi bendrosios ekonominės pusiausvyros modeliavimo principai, yra galima biodegalų gamybos įtaka kitiems sektoriams, visų pirma, žemės ūkiui. Vis dėlto *a priori* galima teigti, kad ta įtaka priklauso nuo biodegalų gamybos mastų ir, atitinkamai, naudojamų žaliavų: kuo didesnė dalis žaliavų (pvz. kvietrugių) sunaudojama biodegalų gamybai, tuo didesnė ir makroekonominė įtaka. Taigi, priklausomai nuo biodegalų gamybos santykinio masto, į biodegalų perspektyvinės raidos matematinį modelį turėtų būti įtraukti kai kurie sąryšiai su kitais ekonomikos sektoriais.

Bent jau pirmos kartos biodegalų atveju svarbu atsižvelgti ir į faktą, kad pagrindinių žaliavų kainos tiesiogiai priklauso nuo pasaulinės rinkos konjunktūros. Tuo tarpu pasaulinė javų ir aliejingųjų augalų sėklų kaina ryškiai koreliuoja su naftos kaina. Tai gali būti aiškinama dviejų krypčių ryšiais: viena vertus, naftos produktai ir biodegalai yra substitutai, taigi ir biodegalų žaliavos tam tikra dalimi gali pakeisti naftą; kita vertus, energetikos ir su jais glaudžiai susiję produktai (pvz. trąšos) net ir Lietuvos sąlygomis sudaro didelę javų ir aliejingųjų augalų sėklų savikainos dalį (Lekavičius et al. 2008).

Siekiant korektiškai modeliuoti biodegalų gamybos raidą Lietuvoje, būtina detalai analizuoti kiekvienos įmonės gamybos procesus ir atsižvelgti į jiems įtaką galinčius daryti individualius veiksniai. Atsižvelgiant į šiuos faktorius formuojamas sąnaudas minimizuojantis optimizacinis modelis su galimybe atspindėti makroekonominis kintamuosius: tokiaime hibridiniame

modelyje artėjama prie anksčiau aptarto sistemos veikimą imituojančio požiūrio, kai stengiamasi kuo detaliau sumodeliuoti esamą biodegalų sektoriaus struktūrą.

Siūloma biodegalų gamybos Lietuvoje matematinio modelio principinė schema vaizduojama 4 paveiksle.



4 pav. Biodegalų gamybos perspektyvinės raidos modelio principinė schema

4 pav. Punktyrine linija pažymėti statistiniai ryšiai, o ištisine – funkciniai. Kaip matome, modelio viduje elementai yra susieti funkciniais ryšiais, tokiais pat ryšiais sąveikauja ir su įėjimais bei šalutiniais produktais, kuriuos pardavus biodegalus gaminanti įmonė gali gauti papildomų pajamų.

Tuo tarpu statistiniai ryšiai modeliuojami tarp naftos ir biodegalų žaliavų, išskastinių degalų kainų bei tarp pagamintų degalų kainų ir paklausos (tai leidžia išreikšti paklausos elastingumą. Dėl tokios struktūros (paklausos endogenizavimo), gali būti formuluojamas netiesinio programavimo matematinis modelis.

Statistiškai išreikšti ryšiai atnaujinant modelį turi būti peržiūrėti, nuolatos papildant duomenis, kadangi tikėtina, kad plečiantis biodegalų gamybai smarkiai keisis ir šių ryšių pobūdis. Tuo tarpu funkciniai ryšiai atnaujinami atsižvelgiant į prieinamą tiksliausią informaciją.

Kaip atskiri ribojimai matematiname modelyje pateikiama Lietuvoje priimta įsipareigojimų dėl AEI dalies transporto sektoriuje pasiekimo trajektorija (ryšys tarp paklausos ir biodegalų gamybos modelio išėjimų) bei privalomi maišymo normatyvai (ryšys tarp atitinkamų išskastinių degalų ir atitinkamų biodegalų technologijų išėjimų), įvertinant tarptautinės prekybos apimtis.

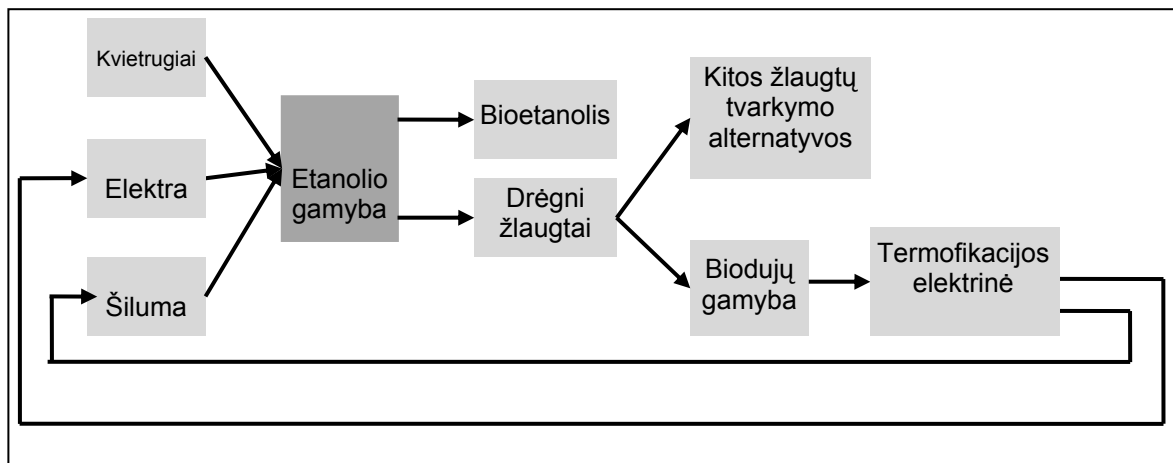
Modelio struktūra leidžia naudoti papildomas lygtis, skirtas šiuo metu Lietuvoje taikomoms biodegalų gamybos skatinimo priemonėms: biodegalų (išskyrus privaloma tvarka maišomus į išskastinius degalus)

atleidimui nuo akcizo ir tiesioginei paramai biodegalus gaminančioms įmonėms, kai biodegalų gamybos sąnaudos viršija pajamas.

Kadangi modelyje pagrindinis egzogeninis kintamasis yra naftos kaina, priklausomai nuo nagrinėjamo klausimo, jos ateities dinamikos prognozės turi būti paimtos iš ypač patikimų šaltinių. Jeigu naudojant modelį analizuojama naftos kainos įtaka biodegalų gamybos raidai, galima nagrinėti įvairius naftos kainų raidos scenarijus, taip pat ir atsižvelgiant į koreliacinių ryšių tarp naftos ir naftos produktų kainų pobūdį bei stiprumą.

Siūlomas modelis pasižymi lanksčia tinkline struktūra, kas leidžia detaliam analizuoti įvairias biodegalų gamybos technologines alternatyvas. Modeliuojant biodegalų gamybą buvo laikytasi nuostatos, kad technologinius gamybos procesus galima suskaidyti į ekonominę prasmę turinčius etapus. Tai yra, jeigu keli technologiniai procesai yra neišvengiamai susiję, nėra prasmės ekonominiame modelyje juos vaizduoti kaip atskirus. Ir atvirkščiai – su biodegalų gamyba tiesiogiai technologiskai nesusiję procesai buvo traukiami į modelį tuo atveju, jeigu jie galėjo turėti įtakos ekonominiams rodikliams. Tai galima pailiustruoti biodujų iš etanolio gamybos atliekų panaudojimo pavyzdžiu, pateiktu 5 pav.

Gaminant bioetanolį susidaro ir šalutinis produktas – drėgni žlaugtai. Modeliuojamos įvairios galimos jų panaudojimo alternatyvos (džiovinimas, biodujų gamyba ir kt.).



5 pav. Pirmos kartos bioetanolio gamyba, žlaugtus panaudojant biodujoms

5 paveiksle vaizduojamas bioetanolio gamybos proceso, įdiegto UAB „Kurana“ modeliavimo principas. Kaip matyti iš paveikslo, modelyje yra numatoma galimybė sumodeliuoti gamybą „be atliekų“: žlaugtų panaudojimą biodujoms gaminti ir šilumos bei elektros gamybą iš biodujų. Termofikacijos elektrinėje gauta šiluma be elektra savo ruožtu gali būti panaudota tolesniuose bioetanolio gamybos procesuose.

Modelyje taip pat numatyta galimybė sujungti su visą šalies ūkį atspindinčiu bendrosios pusiausvyros modeliu. Tai gali būti realizuojama bet kokiame matematinio modeliavimo pakete, pavyzdžiui, GAMS (McCarl 2011), turinčiame netiesinio optimizavimo galimybę. Modelių sujungimas atliekamas bendrosios pusiausvyros modelyje individualias naudingumo funkcijas maksimizuojant analitiškai, o biodegalų gamybos modelio tikslo funkciją optimizuojant naudojantis optimizaciniu paketu.

Praktiniam modelio taikymui itin aktualus yra relevantiškų išeities duomenų klausimas. Informaciją apie šiuo metu Lietuvoje veikiančius biodegalų gamybos pajėgumus, jų techninius ir ekonominius rodiklius yra renkami Žemės ūkio ministerijos. Norint juos pritaikyti modeliavimui yra reikalinga atlikti tam tikras korekcijas, pavyzdžiui, paskirstyti sąnaudas tarp kintamų ir pastovių. Paprastai ekonomikoje skiriami trumpasis ir ilgasis laikotarpiai pagal tai, kaip greitai įmanoma atnaujinti gamybos pajėgumus. Biodegalų gamybos raidos modeliavimo atveju svarbu taip paskirstyti sąnaudas, kad jos atspindėtų tikrą vaizdą, t. y. kokios būtų vienos ar kitos technologijos išlaidos, jeigu gamyba nevyksta, ir kiek jos išauga didėjant gamybai. Nustatyti šiuos rodiklius gana sunku, kadangi kol kas prieinami tik kelių įmonių duomenys, apimantys labai trumpą laikotarpį.

Su kiek kitokio pobūdžio problemomis susiduriama modeliuojant tas technologijas, kurių veikiančių pavyzdžių dar nėra arba kurių techniniai ir ekonominiai rodikliai priklausomai nuo vietos galėtų reikšmingai skirtis. Be to, sąlyginai naujoms technologijoms yra aktualus ir tas faktas, kad joms tobulėjant parametrai keičiasi. Pavyzdžiui, jei pirmos kartos bioetanolio gamybos technologija leidžia pagaminti tam tikrą kiekį etanolio iš kviečių, tikimybė, kad šis kiekis smarkiai pasikeis yra nedidelė. Tuo tarpu tobulinant naujas technologijas yra galimi daug didesni kokybiniai tiek techninių, tiek ir ekonominių parametrų šuoliai, kuriuos prognozuoti ne visada įmanoma. Pirminiuose

modeliavimo etapuose daugiau ar mažiau patikimi duomenys renkami iš mokslinės literatūros ir kitų informacijos šaltinių, tačiau toliau analizuojant biodegalų gamybos raidą yra būtina įvertinti technologijų raidos neapibrėžtumus. Modelyje yra numatyta galimybė tai atlikti generuojant skirtingus technologijų raidos scenarijus.

Išvados

Nagrinėjant mokslinę literatūrą, išskirti trys požiūriai į biodegalų perspektyvinės raidos modeliavimą, reikalaujantys skirtingos apimties modelių. Pirminei lyginamajai biodegalų perspektyvinės raidos galimybių analizei gali būti naudojamas lyginamasis požiūris, kai analizuojamos atskirai dirbančios technologijos ar gamyklos. Platesnės apimties analizė atliekama imituojant viso biodegalų gamybos sektoriaus ar energetinės sistemos darbą, o kompleksiškiausia – įvertinant nagrinėjamo sektoriaus sąryšius su kitomis ūkio šakomis. Siekiant adekvačiai panaudoti resursus, priklausomai nuo modeliavimo tikslų, turi būti ieškoma optimalaus modelio detalumo ir kompleksiškumo lygmenų.

Biodegalų gamyba Lietuvoje pasižymi staigiais svyravimais, kadangi šalies viduje juos gamina tik keletas įmonių, ir aktyvia tarptautine prekyba. Šiuo metu Lietuvoje biodegalus gaminančių įmonių ūkinės veiklos praktika rodo, kad mūsų šalies sąlygomis biodegalų gamybos matematinis modeliavimas turėtų būti labiau orientuotas į detalų ekonomiškai prasmingų procesų atspindėjimą nei į makroekonominis ryšius.

Siūlomas biodegalų gamybos Lietuvoje perspektyvinės raidos modelis įgalina įvertinti empiriškai nustatytus ryšius tarp naftos kainos ir pirmos kartos biodegalų žaliavų kainų, o taip pat modeliuoti ir kitų rūšių biodegalus. Dėl lanksčios modelio struktūros yra galimas biodegalų gamybos šalutinių produktų skirtingų panaudojimo alternatyvų matematinis modeliavimas.

Tyrimą finansuoja Lietuvos mokslo taryba (sutarties Nr. ATE-01/2011).

Literatūra

- He, J., W. Zhang (2011). Techno-economic evaluation of thermo-chemical biomass-to-ethanol. *Applied Energy* 88(4): 1224-1232.
- Janulis, P. (2004). Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. *Renewable Energy* 29(6).
- Jupesta, J. (2011). Modeling technological changes in the biofuel production system in Indonesia. *Applied Energy*.
- Kretschmer, B., Narita, D. et al. (2009). The economic effects of the EU biofuel target. *Energy Economics* 31: S285-S294.
- Kretschmer, B., S. Peterson (2010). Integrating bioenergy into computable general equilibrium models — A survey. *Energy Economics* 32(3): 673-686.
- Lekavičius, V., Bobinaitė, V., Galinis, A. (2008). Naftos kainų ryšiai su Lietuvos kviečių augintojų veiklos rezultatais. *Management Theory & Studies for Rural Business & Infrastructure Development* 15(4): 100-109.
- McCarl, B. A., Meeraus, A. et al. (2011). *McCarl GAMS User Guide*. Version 23.6.
- Murphy, J. D., Power N. M. (2008). How can we improve the energy balance of ethanol production from wheat? *Fuel* 87(10-11): 1799-1806.
- Power, N., Murphy J. D. et al. (2008). What crop rotation will provide optimal first-generation ethanol production in Ireland, from technical and economic perspectives? *Renewable Energy* 33(7): 1444-1454.
- Statistikos departamentas prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės (2007). *Kuro ir energijos balansas 2006*.
- Statistikos departamentas prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės (2009). *Kuro ir energijos balansas 2008*.
- Statistikos departamentas prie Lietuvos Respublikos Vyriausybės (2011). *Kuro ir energijos balansas 2010*.
- Timilsina, G. R., Csordás, S. et al. (2011). When does a carbon tax on fossil fuels stimulate biofuels? *Ecological Economics*.
- de Wit, M., Junginger M., et al. (2010). Competition between biofuels: Modeling technological learning and cost reductions over time. *Biomass and Bioenergy* 34(2): 203-217.

BIOFUEL PRODUCTION IN LITHUANIA: MODELLING OF THE FUTURE DEVELOPMENT**Summary**

According to the directive 2009/28/EC Lithuania as well as other European Union countries has an obligation to achieve a 10 percent level of energy from renewable energy sources (RES) in the final energy consumption in transport. From the point of view of society, there is a strong interest to investigate how biofuel production capacities should be developed and operated in order to achieve this target in the most rational way.

The aim of the article is to create a mathematical model for analysis of long-term development of biofuel production in Lithuania. The structure of the paper is as follows. First part of the paper discuss methodological approaches related to the modelling of biofuel development, second part presents current situation of biofuel production in Lithuania, and in the third part there is presented proposed structure and general features of mathematical model for analysis of long-term modelling of biofuel development.

In the previous researches it has been determined that relationship between world oil prices and prices of the first generation biofuel feedstock is significant. Oil price has an impact on the main components of the feedstock cost: on the one hand, large part of expenses of wheat production is directly related to oil and other energy products. On the other hand, prices of biofuel feedstock are related to oil price as they are partial substitutes.

All these relationships as well as technical, legislative aspects and uncertainties have been taken into account when long- and medium-term development of biofuel production capacities has been modelled. Oil price in the model was considered as the most important exogenous factor, which is able to make a strong indirect influence on changes of biofuels production's cost structure. A mixed bottom-up approach has been used in this model when particular technologies have been modelled. This means that the model is focused on the performance of each individual technology producing biofuels and more general results could be received by aggregation of individual plants performance.

Model is designed to optimize capacity building and production processes from different perspectives. Minimization of total discounted cost of biofuel production, as an objective function of the model, was chosen in order to get the most socially acceptable biofuel development pathway.

KEYWORDS: biofuel, bioethanol, biodiesel, renewable energy sources, mathematical modelling, optimal integration of technologies.

Vidas Lekavičius, Lietuvos energetikos instituto Energetikos kompleksinių tyrimų laboratorijos jaunesnysis mokslo darbuotojas, socialių mokslų (ekonomikos) doktorantas. Adresas: Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas, tel.: +370 37 401950, el. paštas vidas@mail.lei.lt.

Dalius Tarvydas, Lietuvos energetikos instituto Energetikos kompleksinių tyrimų laboratorijos mokslo darbuotojas, socialių mokslų (ekonomikos) daktaras. Adresas: Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas, tel.: +370 37 401957, el. paštas dali@mail.lei.lt.

Arvydas Galinis, Lietuvos energetikos instituto Energetikos kompleksinių tyrimų laboratorijos vyriausiasis mokslo darbuotojas, socialių mokslų (ekonomikos) daktaras. Adresas: Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas, tel.: +370 37 401957, el. paštas galinis@mail.lei.lt.