

BIODEGALŲ GAMYBOS IR VARTOJIMO EKONOMINIAI BEI APLINKOSAUGINIAI IŠŠŪKIAI PEREINANT PRIE TVARIOS ENERGETIKOS

Akvilina JANKAUSKĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Bioekonomikos plėtros fakultetas,
el. paštas: akvilina.jankauske@stud.vdu.lt

Santrauka

Būtina įvertinti biodegalų gamybos ir vartojimo poveikį ekonomikai ir aplinkai, siekiant įvertinti pagrindinius iššūkius ir galimybes tvariai energetikos plėtrai. Tyrimo metu išanalizuoti biodegalų gamybos ekonominiai veiksniai, nustatyti vartojimo aplinkosauginiai iššūkiai ir išnagrinėtos pažangiųjų biodegalų plėtros perspektyvos ir reguliavimo priemonės. Taikyti mokslinės literatūros analizės, dokumentų sisteminimo ir apibendrinimo metodai leido nustatyti, kad nors biodegalai prisideda prie regioninės ekonomikos augimo ir energetinės nepriklausomybės stiprinimo, jų gamyba susijusi su didelėmis sąnaudomis ir žaliavų kainų svyravimais. Aplinkosauginių požiūriu tradiciniai, pirmosios kartos biodegalai gali skatinti miškų kirtimą ir biologinės įvairovės nykimą, todėl tvariam sektoriaus vystymui būtina skatinti biodegalus, gaminamus iš atliekų ir ne maistinių žaliavų. Siekiant užtikrinti biodegalų žaliavos gamybos tvarumą ir sektoriaus konkurencingumą, būtina tobulinti tvarumo reguliavimo mechanizmus, skatinti investicijas į biodegalų gamybos infrastruktūrą, o tai leistų sumažinti priklausomybę nuo pirmosios kartos biodegalų ir sustiprintų sektoriaus darnumą.

Reikšminiai žodžiai: tvari energetika, biodegalai, šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos, energetinė nepriklausomybė.

Įvadas

Didėjantis klimato kaitos ir tvarios energijos svarbos suvokimas skatina tiek valstybes, tiek privačias įmones investuoti į biodegalų technologijas. Kadangi biodegalai tampa vis patrauklesniu energijos šaltiniu, daugelio šalių vyriausybės ieško būdų, kaip didinti jų gamybą ir atitikti Europos Sąjungos (ES) nustatytus reikalavimus. Kaip teigia K. Miliūnas (2006), „šiulaikiniame pasaulyje biodegalai vis dar sudaro tik nedidelę dalį visos degalų rinkos“. Pasak A. Rimkaus ir kt. (2017), didesnė biodegalų gamyba ir vartojimas gali padėti įgyvendinti griežtėjančius aplinkosaugos reikalavimus, mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas ir su iškastinio kuro naudojimu susijusią aplinkos taršą. Be to, išaugusi biodegalų gamyba prisidėtų prie vis didėjančios dyzelino paklausos mažinimo.

Ši tendencija pastebima ne tik Europoje, bet ir pasauliniu mastu. Energetikos sektorius susiduria su vis didesniais iššūkiais, kuriuos lemia klimato kaita, geopolitinis nestabilumas ir iškastinio kuro išteklių mažėjimas. ES, siekdama sumažinti priklausomybę nuo tradicinių energijos šaltinių ir mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijas, aktyviai skatina atsinaujinančios energijos šaltinių, įskaitant biodegalus, plėtrą. Tikimasi, kad tai ne tik sumažins neigiamą poveikį aplinkai, bet ir prisidės prie regioninio energetinio saugumo stiprinimo bei ekonomikos augimo.

Remiantis V. Strikis ir A. Lenerts (2011) atliktais tyrimais, prognozuojama, kad pasaulinis energijos suvartojimas per ateinančius dešimtmečius padidės 3–4 kartus. Tai rodo, kad energijos poreikis augs greičiau nei atsinaujinančių išteklių integracija į rinką, todėl būtina kuo efektyviau išnaudoti alternatyvius energijos šaltinius. B. Kniūkšta (2017) pabrėžia, kad biodegalų gamyba ir vartojimas gali prisidėti prie energetinės nepriklausomybės stiprinimo, klimato kaitos švelninimo ir teigiamai paveikti žemės ūkio sektorių, įskaitant pašarų gamybą ir visuomenės gerovę.

Tačiau, kaip pastebi V. Kveselis ir kt. (2013), atsinaujinančios energijos technologijų plėtra ne visada užtikrina ekologinį tvarumą ar socialinį teisingumą. Siekiant skatinti biodegalų vartojimą, būtina atsižvelgti į tris pagrindinius kriterijus: aplinkosauginius, ekonominius ir socialinius. Vienas iš esminių klausimų – kaip biodegalų plėtra veikia žemės ūkį ir maisto saugumą.

Didėjanti biodegalų paklausa gali paskatinti dirbamos žemės paskirties keitimą, kai maistui skirtos kultūros keičiamos biodegalų žaliavomis, taip didinant maisto produktų kainas ir konkurenciją dėl gamtos išteklių, ypač vandens ir dirvožemio. Be to, intensyvi žemės ūkio veikla, reikalinga biodegalų gamybai, gali prisidėti prie biologinės įvairovės nykimo ir dirvožemio degradacijos.

Norint sumažinti šiuos neigiamus padarinius, būtina skatinti pažangiųjų biodegalų plėtrą – tokių, kurie gaminami iš atliekų ar ne maistinių žaliavų. Tai ne tik padėtų efektyviau išnaudoti turimus išteklius, bet ir užtikrintų mažesnę poveikį aplinkai ir didesnę biodegalų sektoriaus tvarumą.

Tyrimo objektas – biodegalų gamybos ir vartojimo ekonominiai bei aplinkosauginiai iššūkiai pereinant prie tvarios energetikos.

Tyrimo tikslas – nustatyti biodegalų gamybos ir vartojimo poveikį ekonomikai bei aplinkai, įvertinant pagrindinius iššūkius ir galimybes tvariai energetikos plėtrai.

Išskeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

- 1) išanalizuoti ekonominius ir aplinkosauginius veiksniai, lemiančius biodegalų gamybą ir vartojimą;
- 2) išnagrinėti pažangiųjų biodegalų gamybos plėtros perspektyvas;
- 3) išanalizuoti ES reguliavimo priemones biodegalų tvarumo užtikrinimui.

Tyrimo metodai: mokslinės literatūros, dokumentų analizė, sisteminimas, apibendrinimas.

Biodegalų gamybos ir vartojimo ekonominiai veiksniai

Remiantis F. Taheripour ir kt. (2010), biodegalų gamyba ir vartojimas turi reikšmingų ekonominių padarinių, kurie gali būti tiek teigiami, tiek neigiami. Viena vertus, biodegalų sektoriaus plėtra skatina ekonomikos augimą, ypač kaimo vietovėse, kuriose žemės ūkio veikla yra pagrindinis pajamų šaltinis. Tai prisideda prie naujų darbo vietų kūrimo ir vietos bendruomenių gerovės. Be to, biodegalų gamyba mažina priklausomybę nuo importuojamos naftos, stiprindama energetinę nepriklausomybę. Vis dėlto, intensyvi biodegalų gamyba gali turėti neigiamų ekonominių pasekmių.

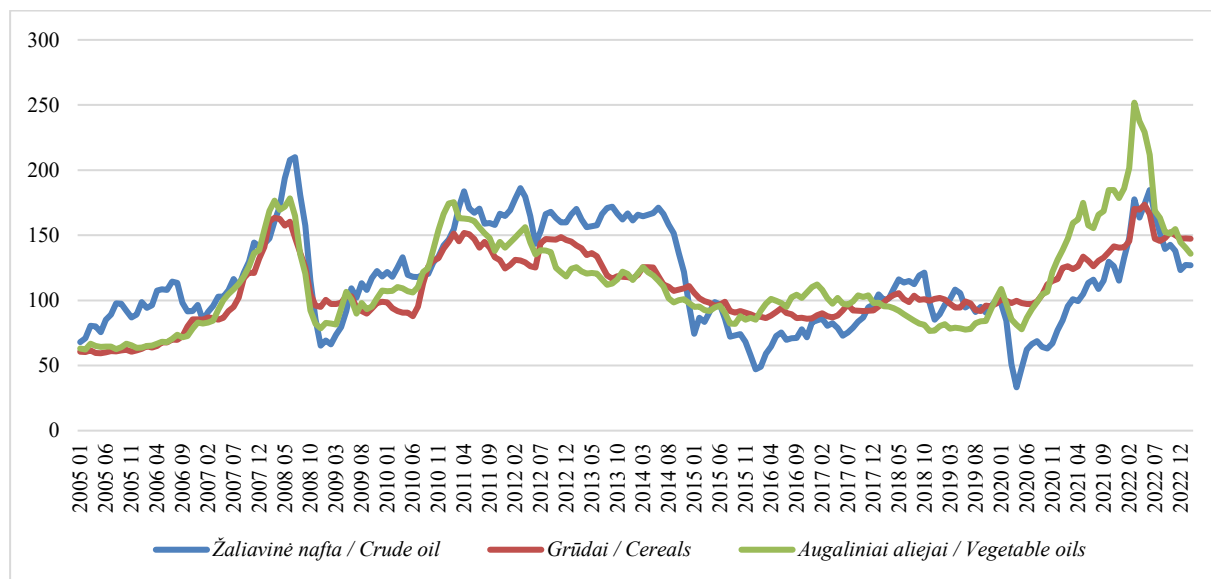
Auganti biodegalų paklausa lemia žaliavų, tokių kaip grūdai ir aliejiniai augalai, kainų kilimą, kuris gali sukelti maisto saugumo problemų. Konkurencija dėl žemės ūkio paskirties žemės tarp maisto ir biodegalų gamybos gali lemti žemės naudojimo pokyčius, darant poveikį aplinkai ir biologinei įvairovei.

Pasak V. Katino ir J. Savicko (2012), biodegalų gamybą stipriai veikia ekonominiai veiksniai, susiję su gamybos sąnaudomis, žaliavų prieinamumu ir rinkos konkurencingumu. Biodegalų gamybos kaštai išlieka didesni nei tradicinių degalų, nes žaliavos, tokios kaip rapsų aliejus ir metanolis, yra brangios, o jų kainos priklauso nuo pasaulinės energetikos rinkos svyravimų. Siekiant sumažinti gamybos išlaidas, būtina investuoti į efektyvesnes technologijas bei naudoti pigesnes ir tvaresnes žaliavas, pavyzdžiui, bioetanolį vietoje metanolio.

Biodegalų vartojimą lemia ekonominės paskatos, tokios kaip mokesčių lengvatos, subsidijos ir reguliavimo priemonės (OpenAI, 2025). ES ir Lietuva taiko biodegalų įmaišymo į degalus reikalavimus, taip užtikrindamos jų paklausą rinkoje. Tačiau, nepaisant augančių gamybos pajėgumų, vartojimą stabdo didesnė biodegalų kaina, ribota vidaus paklausa ir priklausomybė nuo eksporto. Siekiant didinti konkurencingumą, būtina toliau taikyti finansines priemones ir investuoti į biodegalų naudojimui pritaikytą infrastruktūrą.

Biodegalų rinka taip pat veikia platesnius ekonominius sektorius. K. O. Overmars ir kt. (2011) teigia, kad biodegalų politika didina žemės ūkio produktų paklausą, o tai gali kelti maisto kainas ir daryti įtaką mažesnes pajamas gaunantiems vartotojams, ypač besivystančiose šalyse. T. Searchinger ir R. Edwards (2016) pastebi, kad tai sukelia tiesioginį maisto produktų kainų augimą, kuris ypač neigiamai veikia skurdžiausias visuomenės grupes.

Geopolitiniai veiksniai taip pat turi didelę įtaką biodegalų rinkai. P. Kirby (2023) pažymi, kad Rusijos ir Ukrainos karas padidino energijos tiekimo nestabilumą Europoje, todėl ES siekia mažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro importo iš geopolitiniu požiūriu rizikingų regionų. J. Glauber ir S. Hebebrand (2023) teigia, kad JAV biodegalų politika, įskaitant pasėlių subsidijas, anksčiau prisidėjo prie maisto kainų šuolių, todėl šiandien vėl kyla diskusijos dėl tvirtos biodegalų plėtros strategijų.



Šaltinis: sudaryta pagal J. Glauber ir C. Hebebrand (2023)

Source: according to J. Glauber and C. Hebebrand (2023)

1 pav. Žaliavinės naftos ir žemės ūkio žaliavų kainų indeksų dinamika

Fig. 1. Crude oil and agricultural feedstock price indices

Pagal J. Glauber (2023) pateiktą 1 paveikslą analizuojami trijų pagrindinių prekių – žalios naftos, grūdų ir augalinių aliejų – kainų indeksų pokyčiai nuo 2005 iki 2023 m. Matyti, kad visų trijų prekių kainų tendencijos yra glaudžiai susijusios, o didžiausi svyravimai sutampa su pasaulinėmis ekonominėmis krizėmis ir geopolitiniais įvykiais. 2008 m. finansų krizė sukėlė staigų žalios naftos kainų šuolį, po kurio sekė staigus kritimas, o panašūs svyravimai matomi ir grūdų bei augalinių aliejų rinkose. Nuo 2010 m. kainos išliko santykinai stabilios, kol 2020 m. pandemija ir 2022 m. Rusijos invazija į Ukrainą sukėlė naujus staigius šuolius, ypač augalinių aliejų rinkoje. Tai patvirtina, kad biodegalų gamybai svarbios žaliavos, tokios kaip grūdai ir augaliniai aliejai, yra jautrios energijos kainų pokyčiams bei pasaulinėms krizėms, todėl jų rinkos tarpusavyje yra labai susijusios.

Investicijos į vietinius energijos šaltinius ir infrastruktūrą siekiama paspartinti energetinės nepriklausomybės užtikrinimą, kuris yra esminis Europos regiono saugumo ir stabilumo veiksnys. Pasak A. V. Litra ir kt. (2023), mažesnė priklausomybė nuo išorinių energijos tiekėjų padeda išvengti galimo energijos tiekimo naudojimo kaip geopolitinio spaudimo priemonės. Tai stiprina ES šalių saugumą ir didina politinį stabilumą. Geopolitinių konfliktų ar energijos tiekimo sutrikimų atvejais mažesnis importo poreikis užtikrintų didesnę ekonominę atsparumą.

Energijos importo mažinimas taip pat leidžia išsaugoti daugiau kapitalo ES vidaus rinkoje, skatinti vietos ekonomiką ir kurti darbo vietas atsinaujinančios energijos sektoriuje. Be to, tai prisideda prie energijos kainų stabilizavimo, mažinant jų svyravimus ir užtikrinant vartotojams stabilesnes energijos sąnaudas. Investicijos į biodegalų gamybos ir vartojimo plėtrą skatina technologinę pažangą energetikos sektoriuje, suteikdamos ES galimybę tapti pasauliniu lyderiu atsinaujinančios energijos technologijų srityje ir stiprinti konkurencinį pranašumą tarptautinėje rinkoje.

Biodegalų gamybos ir vartojimo aplinkosauginiai veiksniai

Remiantis Renewables Global Status Report (2012), vis labiau keliamas klausimas apie biodegalų žaliavų gamybos tvarumą, jų poveikį maisto tiekimui bei su tuo susijusių žemės naudojimo pokyčius. Taip pat didėja susirūpinimas galimu biodegalų gamybos indėliu į šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijas. Šie iššūkiai per pastaruosius metus sumažino optimizmą dėl tolesnės biodegalų plėtros ir gali turėti įtakos jų paklausai ne tik ES, bet ir visame pasaulyje. Be to, biodegalų gamybos procesai dažnai siejami su neigiamu poveikiu aplinkai, įskaitant vandens taršą ir biologinės įvairovės nykimą.

Nors biodegalai dažnai pristatomi kaip tvari alternatyva iškastiniam kurui, vis dažniau keliamas klausimas, ar jų vartojimas iš tiesų yra toks ekologiškas, kaip manyta anksčiau. Pagrindinis biodegalų gamybos tikslas – sumažinti ŠESD emisijas, tačiau šis poveikis priklauso nuo žaliavų kilmės ir gamybos būdo. Pasak S. Stravinsko ir A. Rimkaus (2017), biodegalai išskiria mažiau anglies dioksido nei iškastinis kuras, todėl jų naudojimas gali reikšmingai prisidėti prie transporto sektoriaus išmetamo CO₂ mažinimo. Mažinant iškastinio kuro vartojimą ir jį keičiant biodegalais, galima sumažinti neigiamą poveikį orui, vandeniui ir dirvožemiui.

Pasak M. Torkashvand ir kt. (2022), netvarus naftos išteklių naudojimas sukelia ne tik oro taršą, bet ir daro žalą sausumos ir vandens ekosistemoms, kelia grėsmę biologinei įvairovei. Be to, iškastinio kuro deginimas prisideda prie globalinio atšilimo, potvynių ir tirpstančių ledynų, todėl būtina ieškoti tvarių alternatyvų. Biodegalai gali būti viena iš priemonių mažinti šių procesų intensyvumą, nes jų naudojimas leidžia sumažinti atmosferoje kaupiamo anglies dioksido kiekį.

Tačiau biodegalų gamyba ne visada yra ekologiška. Pasak J. E. Fargione ir kt. (2010), jau 2008 m. maistui tinkamų žaliavų pagrindu gaminami biodegalai buvo auginami 33,3 mln. hektarų plote, o P. Havlik ir kt. (2011) prognozavo, kad iki 2020 m. ši gamyba galėjo padidėti net 170 proc. Toks augimas lemia reikšmingus žemės naudojimo paskirties keitimus (Land Use Change – LUC), kurie gali skatinti miškų naikinimą, biologinės įvairovės nykimą ir didesnę išteklių naudojimą.

Atsižvelgiant į šiuos veiksniai, būtina taikyti subalansuotą biodegalų gamybos ir vartojimo politiką, kuri skatintų pažangiųjų biodegalų, gaminamų iš atliekų ir ne maistui skirtų žaliavų, plėtrą. Tokie sprendimai galėtų padėti sumažinti konkurenciją tarp maisto ir kuro gamybos, užtikrinti mažesnę poveikį aplinkai bei išlaikyti biodegalų sektoriaus tvarumą ilgalaikėje perspektyvoje.

Viena iš galimų rizikų, susijusių su augančiu biodegalų vartojimu, yra naftos kainų sumažėjimas. E. Smeets ir kt. (2014) teigia, kad mažėjanti naftos kaina gali sukelti teigiamą atsiliepimo efektą. Didėjant biodegalų paklausai, mažėja naftos vartojimas, o tai lemia naftos kainų kritimą. Savo ruožtu, pigesnė nafta gali paskatinti jos didesnę vartojimą, todėl naftos suvartojimo mažėjimas nebus proporcingas biodegalų naudojimo augimui. Tai reiškia, kad biodegalų naudojimas gali neturėti laukiamo poveikio iškastinio kuro vartojimo mažinimui ir aplinkos taršos mažinimo efektas gali būti silpnesnis nei manyta.

Be to, J. Popp ir kt. (2014) nustatė, kad pirmosios kartos biodegalų gamybos procesai sukelia daugiau šiltnamio efektą sukeliančių dujų (ŠESD) emisijų. Tai daugiausia lemia didelis trąšų ir pesticidų naudojimas žemės ūkyje, kuris ne tik teršia dirvožemį, bet ir prisideda prie anglies dvideginio išmetimo. Taip pat svarbu atkreipti dėmesį į tai, kad biodegalai turi mažesnę energinę vertę nei tradicinis iškastinis kuras, todėl norint pagaminti tokį patį energijos kiekį, reikia sunaudoti daugiau biodegalų.

Šiuo metu dėmesys skiriamas antrosios, trečiosios ir ketvirtosios kartos biodegalams, kurie gaminami iš žaliavų, nekonkuruojančių su maistui skirtomis kultūromis. Šie biodegalai gali efektyviau mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas, nes jų pagrindinė žaliava yra celiulioziniai produktai ir atliekos. G. Hammond ir S. M. Seth (2013) nustatė, kad pirmosios kartos biodegalų anglies pėdsakas yra gerokai didesnis nei antrosios kartos biodegalų, o tai patvirtina naujų biodegalų technologijų naudą aplinkai.

Biodegalų gamybos tvarumas tampa vis aktualesne problema, nes jis tiesiogiai veikia žemės naudojimo pokyčius ir gali prisidėti prie šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijų didėjimo. Šie aplinkosauginiai iššūkiai mažina biodegalų plėtros entuziazmą tiek ES, tiek visame pasaulyje, o tai gali turėti įtakos jų rinkos augimui ir paklausai. Dėl šios priežasties dedamos pastangos tobulinti biodegalų gamybos ir naudojimo metodus, siekiant, kad jie ne tik mažintų priklausomybę nuo iškastinio kuro, bet ir turėtų kuo mažesnę neigiamą poveikį aplinkai.

Biodegalų tvarumo gerinimo galimybės: pažangiųjų biodegalų plėtra ir reguliavimas

Europos audito rūmai (2023) pabrėžė, kad nors ES politikos tikslas yra mažinti ŠESD emisijas transporto sektoriuje, pirmosios kartos biodegalai vis dar sudaro didžiąją dalį rinkoje naudojamų atsinaujinančių degalų. Šie biodegalai gaminami iš maistingų žaliavų, tokių kaip rapsų aliejus ar cukranendrės, ir kelia riziką maisto saugumui bei

žemės naudojimo pokyčiams. Ataskaitoje pabrėžiama, kad norint pasiekti realių aplinkosauginių rezultatų, būtina stiprinti pažangiųjų biodegalų, gaminamų iš atliekų, liekanų ir celiuliozės pagrindo žaliavų, plėtrą. Taip pat nurodoma su kokiais iššūkiais susiduria ES skatinant pažangiųjų biodegalų naudojimą:

1) degalų gamybos apimtys išlieka mažos dėl didelių gamybos sąnaudų ir riboto technologinio prieinamumo. Daugelyje ES valstybių narių nėra pakankamos infrastruktūros jų gamybai ir tiekimui, todėl būtina didinti investicijas į tyrimus bei naujų technologijų diegimą;

2) biodegalų tvarumo sertifikavimo sistema, kuri ne visada efektyviai atskiria tvarius biodegalus nuo tų, kurie gali sukelti neigiamą poveikį aplinkai.

Europos žaliasis kursas turi tiesioginį poveikį biodegalų rinkos plėtrai, nes biokuro naudojimas yra svarbi priemonė ŠESD išmetimų mažinimui ir tvarios energetikos skatinimui. Biodegalų gamyba iš atsinaujinančių žaliavų, tokių kaip žemės ūkio ir miško atliekos, gali padėti įgyvendinti žiedinės ekonomikos principus, mažinant atliekų kiekį ir suteikiant naujas naudojimo galimybes biomasės ištekliams. Pagal C. Fetting (2020), kursas taip pat numato, kad iki 2030 m. bus sumažinti ŠESD išmetimai bent 55 proc., lyginant su 1990 m. lygiu. Siekiant šių tikslų, planuojama įgyvendinti daugybę priemonių, įskaitant energijos sektoriaus dekarbonizaciją, tvaraus transporto skatinimą, energetinio efektyvumo didinimą pastatuose ir pramonėje bei žemės ūkio praktikos tobulinimą. Biodegalų naudojimas transporto sektoriuje gali ženkliai prisidėti prie šių tikslų, nes jis gali sumažinti iškastinio kuro naudojimą ir padidinti energijos tiekimo saugumą.

Biodegalų rinkos plėtra gali sukurti naujas darbo vietas kaimo vietovėse, prisidedant prie vietos ekonomikos augimo. Žaliasis kursas skatina mokslinių tyrimų ir inovacijų finansavimą, siekiant sukurti naujas technologijas ir sprendimus, kurie padės įgyvendinti šiuos ambicingus tikslus. Inovacijos biodegalų srityje gali prisidėti prie efektyvesnių gamybos procesų ir didesnio biodegalų naudojimo transporto ir pramonės sektoriuose. Integruotas požiūris į biodegalų rinkos plėtrą, kaip Europos žaliojo kurso dalis, gali ne tik sumažinti iškastinio kuro priklausomybę, bet ir skatinti ekonomikos augimą per naujų darbo vietų kūrimą ir inovacijų skatinimą. Tokiu būdu biodegalai gali atlikti svarbų vaidmenį kuriant tvarią ir atsparią ateities ekonomiką.

Europos audito rūmai (2023) rekomenduoja griežčiau kontroliuoti biodegalų tiekimo grandines ir užtikrinti, kad parama būtų skiriama tik tiems biodegalams, kurie mažina ŠESD emisijas. Siūloma sukurti išsamesnę biodegalų poveikio aplinkai stebėsenos sistemą, kuri leistų priimti sprendimus dėl jų reguliavimo ateityje. Atsižvelgiant į šias rekomendacijas, ES politika turėtų stiprinti finansinę paramą pažangiųjų biodegalų tyrimams, skatinti jų gamybą per investicijas į technologijas ir infrastruktūrą bei tobulinti reguliavimo mechanizmus. Tai leistų sumažinti pirmosios kartos biodegalų priklausomybę, mažinti konkurenciją su maisto gamyba ir padidinti biodegalų sektoriaus tvarumą ilgalaikėje perspektyvoje, taip pat pabrėžiama, kad nenuspėjama ES biodegalų politika gali atgrasyti privačias investicijas ir sumažinti sektoriaus patrauklumą.

Svarbu pažymėti, kad Atsinaujinančiųjų išteklių energijos direktyva (RED I), priimta 2009 m., padėjo pagrindus ES atsinaujinančios energijos politikai, nustatydamą privalomus tikslus valstybėms narėms ir skatinant nacionalinių veiksmų planų rengimą. RED I direktyva įvedė tvarumo kriterijus biodegalams, tačiau paliko daug veiksmų laisvės nacionaliniam reguliavimui, kas lėmė skirtingą direktyvos įgyvendinimo tempą ir nepakankamą pažangiųjų biodegalų plėtrą. Atsižvelgiant į praktikoje išryškėjusias problemas, 2018 m. priimta RED II direktyva sugriežtino tvarumo reikalavimus, nustatė ribas pirmosios kartos biodegalams ir įtvirtino prioritetą antrajai bei trečiajai biodegalų kartai. Direktyva taip pat įvedė ambicingesnius tikslus – iki 2030 m. pasiekti, kad ne mažiau kaip 32 proc. energijos bendrame ES suvartojime būtų gaunama iš atsinaujinančių šaltinių. RED II atspindi kryptingą ES politikos posūkį didesnio biodegalų tvarumo ir inovacijų skatinimo link, o tai atitinka Europos audito rūmų siūlomas priemones ir rodo būtinybę toliau tobulinti reguliavimo sistemą, siekiant efektyvesnio klimato kaitos švelninimo.

Pasak M. Nagevičiaus (2024), neaiškumai dėl pažangiųjų biodegalų klasifikavimo ir tvarumo reikalavimų neatitiktimai tarp ES ir trečiųjų šalių gali diskredituoti įmones. Suomijoje net 90 proc. pažangiųjų biodegalų gaminami iš žaliavų, importuojamų iš už ES ribų, o tai kelia klausimų dėl tvarumo ir energetinės nepriklausomybės. Lietuvos biodegalų gamintojai susiduria su neapibrėžtumu dėl investicijų į gamybos plėtrą ir modernizavimą. Nežinomybė, ar verta investuoti į pirmosios kartos biodegalų gamybos modernizavimą ir pažangiųjų biodegalų gamybą, ar diegti anglies dioksido surinkimo technologijas bei sintetinių degalų gamybos įrenginius. Šis neapibrėžtumas stabdo sektoriaus plėtrą ir gali trukdyti pasiekti ES energetikos ir klimato tikslus. Būtina skubiai parengti aiškią ir nuoseklią ES biodegalų strategiją, kuri verslui suteiktų reikalingą kryptį ir užtikrintų tvarų perėjimą prie atsinaujinančių energijos šaltinių.

Lietuvos energetikos agentūra (2024) pabrėžia, kad biodegalų tvarumo užtikrinimui būtinas aiškus žaliavų tinkamumo vertinimas ir jų atitiktis nustatytiems kriterijams. Pagal Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymą (2011), biodegalai turi užtikrinti bent minimalų ŠESD emisijų sumažėjimą, kad galėtų būti pripažįstami tvariais. Šis reikalavimas ypač svarbus pažangiųjų biodegalų sektoriuje, nes ne visos žaliavos, kurias galima naudoti jų gamybai, atitinka nustatytus tvarumo kriterijus. Pagal Lietuvos energetikos agentūrą (2024), tai apsunkina jų įtraukimą į rinką ir reikalauja papildomų teisinių reguliavimo priemonių, siekiant užtikrinti, kad gamyboje naudojamos atliekos ir liekanos tikrai prisideda prie emisijų mažinimo ir nekelia neigiamo poveikio ekosistemoms.

Pagal Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymą (2011), tvarumo reguliavimas taip pat glaudžiai susijęs su biodegalų tiekimo grandinių kontrole ir jų poveikio aplinkai stebėseną. Alternatyviųjų degalų įstatyme numatyta, kad pažangiųjų biodegalų gamybai tinkamos žaliavos turi būti įvertintos remiantis patvirtinta metodika, siekiant išvengti galimų manipuliacijų biodegalų sertifikavimo sistemoje. Tai rodo, kad biodegalų gamintojai privalo atitikti griežtus dokumentavimo ir atsekamumo reikalavimus, kad būtų užtikrintas žaliavų kilmės skaidrumas ir neleistų į rinką patekti biodegalams, kurie gali turėti didelį netiesioginį anglies pėdsaką. Tokia stebėseną yra būtina ne tik siekiant

išvengti „žaliojo smegenų plovimo“ (angl. greenwashing), bet ir skatinant investuotojus rinktis ekonomiškai ir ekologiškai patikimus biodegalų gamybos sprendimus.

Išvados

1. Biodegalų gamyba ir vartojimas skatina neigiamą ir teigiamą poveikį ekonomikai. Biodegalų vartojimas ir gamyba skatina naujų darbo vietų kūrimą ir regionų plėtrą. Vietinė biodegalų gamyba gali sumažinti priklausomybę nuo iškastinio kuro importo, sustiprinant energetinį saugumą ir prisidedant prie nacionalinio saugumo. Pažangiųjų biodegalų gamyba šiuo metu yra brangesnė nei įprastų degalų, nes trūksta tinkamos infrastruktūros. Žaliavų kainų svyravimai kelia iššūkių konkurencingumui, o konkurencija su maisto gamyba gali lemti tam tikrų produktų kainų augimą, taip neigiamai paveikdama mažesnes pajamas gaunančius vartotojus.

2. Biodegalai yra laikomi ekologiškesne alternatyva iškastiniam kurui, tačiau poveikis aplinkai priklauso nuo žaliavų rūšies ir gamybos būdo. Pirmosios kartos biodegalai, gaminami iš maistinių kultūrų, gali skatinti miškų kirtimą, biologinės įvairovės nykimą ir didinti žemės naudojimo paskirties keitimus. Pažangesni biodegalai, pagaminti iš atliekų ir ne maisto žaliavų, turi didesnį potencialą mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas, tačiau jų gamybos apimtys vis dar yra ribotos.

3. Pažangiųjų biodegalų gamybos plėtra ES turi didelį potencialą prisidėti prie klimato kaitos švelninimo tikslų įgyvendinimo. Aukštos gamybos sąnaudos ir ribotas žaliavų prieinamumas lėtina sektoriaus augimą. Siekiant efektyviai didinti šių biodegalų naudojimą, būtina kryptingai investuoti į naujų technologijų diegimą, skatinti mokslinius tyrimus ir infrastruktūros plėtrą. Aiškus ir stabilus politinis bei teisinis reguliavimas yra ypač svarbus – šiuo metu esantys neaiškūs metodai klaidina privataus sektoriaus įmones, mažina investicinį pasitikėjimą ir stabdo inovacijų diegimą. Aiškesnė strateginė kryptis ir reguliacinis nuoseklumas padėtų sumažinti priklausomybę nuo pirmosios kartos biodegalų, bei paskatintų tvaresnių kuro alternatyvų plėtrą.

4. ES, taikydama reglamentavimo priemones kaip RED I ir RED II direktyvas, sukūrė pagrindą tvariam biodegalų reguliavimui, tačiau efektyvus tvarumo užtikrinimas vis dar reikalauja tobulinimų. RED II reikšmingai sustiprino tvarumo kriterijus, apribojo pirmosios kartos biodegalų naudojimą ir skyrė prioritetą pažangiųjų biodegalų gamybai iš ne maistinių žaliavų. Vis dėlto, kaip pažymi Europos audito rūmai ir Lietuvos institucijos, esama sertifikavimo sistema ir žaliavų atsekamumas nėra pakankamai efektyvūs. Būtina stiprinti stebėsenos mechanizmus, aiškiai apibrėžti žaliavų tinkamumo kriterijus ir harmonizuoti ES bei trečiųjų šalių reikalavimus, siekiant užtikrinti aplinkosauginius tikslus bei užkirsti kelią netvarių biodegalų patekimui į rinką.

Literatūra

1. Biodegalai ir aplinka. *Žiedinė ekonomika*. (2024). Prieiga per internetą: https://www.circulareconomy.lt/biodegalai-ir-aplinka/?utm_source=chatgpt.com (žiūrėta 2025-03-24).
2. European Commission. (2020). The European Green Deal. Prieiga per internetą: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (žiūrėta 2025-04-01).
3. Europos Audito Rūmai. (2023). *Specialioji ataskaita 29/2023: ES parama tvariems biodegalams transporto sektoriuje – Neaiški perspektyva*. Prieiga per internetą: <https://www.eca.europa.eu/lt/publications/SR-2023-29> (žiūrėta 2025-03-05).
4. Fargione, J.E., Plevin, R.J., Hill, J.D. (2010). The Ecological Impact of Biofuels. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*. 351-377. 41:351-77. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144720>.
5. Fetting C. (2020). *The European Green Deal*. Prieiga per internetą: https://www.esdn.eu/fileadmin/ESDN_Reports/ESDN_Report_2_2020.pdf
6. Glauber J., Hebebrand C. (2023). Food versus Fuel v2.0: Biofuel policies and the current food crisis. Prieiga per internetą: <https://www.ifpri.org/blog/food-versus-fuel-v20-biofuel-policies-and-current-food-crisis/> (žiūrėta 2025-02-28).
7. Hammond G., Seth, S.M. (2013). Carbon and Environmental Footprinting of Global Biofuel Production. *Applied Energy*. 112, 547-559. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.009>.
8. Havlik, P., Schneider, U.A., Schmid, E., Böttcher, H., Fritz, S., Skalský, R., Kentaro A., De Cara, S., Kindermann, G., Kraxner, F., Leduc, A., McCallum, I., Mosnier, A., Sauer, T., Obersteiner, M. (2011). Global Land-use Implications of First and Second Generation Biofuel Targets. *Energy Policy*. 30(10), 5690-5702. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.03.030>.
9. Katinas V., Savickas J. (2012). Biodegalų gamybos ir vartojimo plėtros Lietuvoje įvertinimas. *Energetika*, 58(2), 77-85. <https://doi.org/10.6001/energetika.v58i2.2340>
10. Kirby P. (2023). Has Putin's War Failed and what does Russia want from Ukraine? BBC News. Prieiga per internetą: <https://www.bbc.com/news/world-europe-56720589> (žiūrėta 2025-02-28)
11. Kniūkšta B. (2017). Biodegalų gamybos ir vartojimo modeliai baltijos šalyse. *Management Theory & Studies for Rural Business & Infrastructure Development*, 39(2), 178-202. <http://doi.org/10.15544/mts.2017.14>.
12. Kveselis V., Dzenajavičienė E. F., Lissauskas A. (2013). Atsinaujinančių energijos išteklių technologijų ekologiškumas – ką apie tai turėtų žinoti visuomenė. Lietuvos energetikos institutas, Kaunas. Prieiga per internetą: https://alytauskolegija.lt/Dokumentai/2013/20_Kveselis.pdf (žiūrėta 2025-02-25)
13. Lietuvos energetikos agentūra. (2024). Žaliavų degalams gaminti vertinimas. Prieiga per internetą: <https://www.ena.lt/zpd-vertinimas/> (žiūrėta 2025-03-10)

14. Lietuvos Respublikos atsinaujinančių išteklių energetikos įstatymas. XI-1375. (2011). Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.398874> (žiūrėta 2025-03-10)
15. Litra A.V., Nichifor E, Chitu I. B., Zamfirache A. ir Bratucu G. (2023). The Dilemma of the European Integration Principle—Ensuring Energy Independence of the European Union. *Sustainability* 2023. <https://doi.org/10.3390/su152115560>.
16. Miliūnas, K. (2006). *Biodegalų įvedimo į rinką galimybių sąlygos ir problemos* (Doctoral dissertation). Prieiga per internetą: <https://www.vdu.lt/cris/entities/etd/3c556264-075f-432f-827f-7699c60d5e63> (žiūrėta 2025-02-25)
17. Nagevičius M. (2024).. Europos biodegalų politikai trūksta krypties. *Verslo žinios*. Prieiga per internetą: <https://www.vz.lt/izvalgos/2024/01/18/m-nagevicius-europos-biodegalu-politikai-truksta-krypties> (žiūrėta 2025-03-06)
18. OpenAI. (2025). *ChatGPT* (3.5 versija) [Biodegalų vartojimo skatinimas]. Prieiga per internetą: <https://chat.openai.com/chat>. Užklausa: „Kokie ekonominiai veiksniai skatina biodegalų vartojimą?“ (žiūrėta 2025-02-26).
19. Overmars K. O., E.Stehfest, J.P. Ros, A.G. Prins. (2011). Indirect Land use Change emissions related to EU biofuel consumption: an analysis based on historical data. *Environmental Science & Policy*, 14-3, 248-257. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.12.012>.
20. Popp, J., Lakner, Z., Harangi-Rakas, ir Fari, M. (2014). The Effect of Bioenergy Expansion: Food, Energy, and Environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 559-578. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.056>.
21. *Renewables global status report*. (2012). Prieiga per internetą: https://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR2012_low%20res_FINAL.pdf (žiūrėta 2025-02-28)
22. Rimkus A., Ščerbuk A.R. ir Melaika M. (2017). Antros kartos biodyzelino ir dyzelino mišinių naudojimo slėginio uždegimo varikliuose efektyvumo tyrimas. Prieiga per internetą: <https://etalpykla.vilniustech.lt/handle/123456789/119396> (žiūrėta 2025-02-25).
23. Searchinger T., Edwards R. (2016). Do Biofuel Policies Seek to Cut Emissions by Cutting Food. *Environmental economics*. 1420-1422.
24. Smeets, E., Tabeau, A., Berkum, V.S., Moorad, J., Meijl, H.V., Woltjer, G. (2014). The impact of the rebound effect of the use of first generation biofuels in the EU on greenhouse gas emissions: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 393-403. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.035>.
25. Stravinskas, S., Rimkus, A. (2017). Skirtingų atsinaujinančio biodyzelino rūšių palyginimas. Inžinerinės ir edukacinės technologijos, *Technologijos*, 95, 95-98. Prieiga per internetą: <https://etalpykla.vilniustech.lt/handle/123456789/119242> (žiūrėta 2025-03-01)
26. Strikis V., Lenerts A. (2011). Atsinaujinančių energetinių išteklių plėtra. *Management Theory & Studies for Rural Business & Infrastructure Development*, 27 (3), 176.
27. Taheripour F., Hertel T. W., Tyner W. E., Beckman J. F., Birur D. K. (2010). Biofuels and their by-products: Global economic and environmental implications. *Biomass and Bioenergy*. 34(3), 278-289. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.10.017>.
28. Torkashvand., M., Hasan-Zadeh, A., Torkashvand., A. (2022). Mini Review on Importance, Application, Advantages and Disadvantages of Biofuel. *Journal of Materials and Environmental Science*, 612-630.

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL CHALLENGES OF BIOFUEL PRODUCTION AND CONSUMPTION IN THE TRANSITION TO SUSTAINABLE ENERGY

Abstract

It is essential to assess the impact of biofuel production and consumption on the economy and the environment to identify key challenges and opportunities for sustainable energy development. This study analyzed the economic factors of biofuel production, identified environmental challenges related to consumption, and examined the prospects for the development of advanced biofuels as well as regulatory measures. The application of scientific literature analysis, document systematization, and synthesis methods revealed that although biofuels contribute to regional economic growth and strengthen energy independence, their production is associated with high costs and raw material price fluctuations. From an environmental perspective, conventional first-generation biofuels may lead to deforestation and biodiversity loss. Therefore, for the sustainable development of the sector, it is crucial to promote the production of biofuels from waste and non-food feedstock. To ensure the sustainability of biofuel feedstock production and enhance the sector's competitiveness, it is necessary to improve sustainability regulation mechanisms and encourage investment in biofuel production infrastructure, which would help reduce dependence on first-generation biofuels and strengthen the sector's resilience.

Keywords: sustainable energy, biofuels, greenhouse gas emissions, energy independence.