

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Majandusteaduskond
Majandusanalüüsi ja rahanduse instituut

Keili Jaaksoo

**MAJANDUS- JA PÕLLUMAJANDUSTEGURITE MÕJU METAANI
EMISSIONILE EUROOPA RIIKIDE NÄITEL**

Magistritöö

Õppekava Rakenduslik majandusteadus, peeriala keskkonna ja säästva arengu ökonoomika

Juhendaja: Üllas Ehrlich, PhD
Kaasjuhendaja: Ako Sauga, PhD

Tallinn 2019

Deklareerin, et olen koostanud töö iseseisvalt ja olen viidanud kõikidele töö koostamisel kasutatud teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele, ning ei ole esitanud sama tööd varasemalt ainepunktide saamiseks. Töö pikkuseks on 9285 sõna sissejuhatusest kuni kokkuvõtte lõpuni.

Keili Jaaksoo

(allkiri, kuupäev)

Üliõpilase kood: 163489TAAM

Üliõpilase e-posti aadress: keili.jaaksoo@gmail.com

Juhendaja: Üllas Ehrlich, PhD:

Töö vastab kehtivatele nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaasjuhendaja Ako Sauga, PhD:

Töö vastab kehtivatele nõuetele

.....

(allkiri, kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees:

Lubatud kaitsmisele

.....

(nimi, allkiri, kuupäev)

SISUKORD

LÜHIKOKKUVÕTE.....	4
SISSEJUHATUS	5
1. METAAN MEID ÜMBRITSEVAS KESKKONNAS.....	7
1.1. Metaan kui kasvuhuonegaas ja selle tekkepõhjused	7
1.2. Majanduse roll metaani emissioonil.....	10
1.3. Metaani emissioon põllumajanduses.....	15
1.4. Varasemad uurimused	19
2. ANDMED JA METOODIKA	25
2.1. Andmete ülevaade	25
2.2. Metoodika.....	33
3. ANALÜÜS JA JÄRELDUSED	36
3.1. Analüüs.....	36
3.2. Järeldused	39
KOKKUVÕTE	42
SUMMARY.....	45
KASUTATUD ALLIKATE LOETELU	47
LISAD	51
Lisa 1. Kütusetüübi järgi kasutusel olevate autode osakaal (%) valitud Euroopa riikide näitel 2015.aastal.....	51
Lisa 2. Kariloomade tihedus Euroopa Liidu riikide põhjal 2013.aasta seisuga	52
Lisa 3. Ühendatud vähimruutude mudel	53
Lisa 4. Hausmani test	54
Lisa 5. Fikseeritud efektiga mudel	55
Lisa 6. Juhusliku efektiga mudel.....	56
Lisa 7. Waldi test fikseeritud efektiga mudelil.....	57
Lisa 8. Objektispetsiifilised vabaliikmed	58

LÜHIKOKKUVÕTE

Tänapäeva keskkond ja ühiskond peavad kohanema kliimamuutustega, mis on tingitud kasvuhoonegaaside sisalduse suurenemisest atmosfääris. Viimasel ajal on teadvustatud lisaks süsinikdioksiidile ka metaani rolli kasvuhoonegaasina, mis on oma potentsiaalilt kakskümmend viis korda süsinikdioksiidist ohtlikum. Peamised tegurid, mis metaani emissiooni suurendavad ning mida inimkond saab kontrollida, tulenevad põllumajandusest.

Käesoleva töö eesmärk on analüüsida metaani tekkepõhjuseid ning uurida põllumajanduse ja majanduse mõju metaani emissioonile, mis omakorda mõjutab keskkonda. Töös vaadeldakse Euroopa Liidu riike ja kasutatakse vastavat statistikat.

Tulemustest ilmneb, et analüüsitavatel näitajatel on oluline seos metaani heite emissiooniga. Andmeanalüüs on läbi viidud fikseeritud efektiga mudelil, mis tagab andmete põhjuslikkuse ja tulemuste olulisuse. Seega saab öelda, et veiste populatsiooni arvukuse kasv, põllumaa osakaalu suurenemine riigi pindalast, jäätmekäitlusest tekkiva metaani emissiooni kasv mõjutavad keskkonda negatiivselt, sest suurendavad metaani hulka atmosfääris. Seda saab vähendada, kui riigid panustavad teadus- ja arendustegevusse ning hoogustavad oma majandust, mis läbi tõuseb sisemajanduse koguprodukt.

Võtmesõnad: metaan, keskkond, majandus, põllumajandus, Euroopa Liit

SISSEJUHATUS

Kliimamuutused on oluline ja aktuaalne globaalprobleem, mille lahendamiseks on teaduslik lähenemine hädavajalik. Ühiskond on järjest teadlikum kliima soojenemise olemasolust ja sellega seotud ohtudest. Kuivõrd ühiskond sellega toime tuleb, on iga riigi vastutada. Parema ühise koostöimise ja jätkusuutlikkuse nimel tehakse pingutusi, mis tagavad riikide vahelise koostöö ja jagavad vastutust keskkonna heaolu nimel.

Hoolimata keskkonna hoidmise teema aktuaalsusest, on olukord murettekitav ja probleemid riigiti erinevad. Keskkonna jätkusuutlikkus sõltub iga riigi valmisolekust tegeleda kliimamuutustega nii ühiskondlikul, poliitilisel, majanduslikul kui ka teaduslikul tasandil.

Käesoleva töö eesmärgiks on uurida seoseid metaani emissiooni ja vastavate põllumajanduslike ning majanduslike tegurite vahel, mis eeldatavalt mõjutavad metaani eraldumist atmosfääri ning seeläbi halvendavad keskkonna kvaliteeti, mis lõppkokkuvõttes ei jäta mõju avaldamata ka majandusele. Tööks püstitatakse järgmised uurimisküsimused:

- 1) Kas majanduslikud ja põllumajanduslikud tegurid mõjutavad metaani emissiooni?
- 2) Millised seosed esinevad metaani emissiooni ning majanduse ja põllumajanduslike tegurite vahel?

Põhilise tegurina on vaatluse all riikide poolt emiteeritav metaani hulk. Kuna metaani tekkepõhjuseid on erinevaid, siis on töös keskendunud põhjustele, mis on seotud põllumajandusega ja mida võib liigitada inimtekkelisteks. See tähendab, et nende mõju on võimalik käitumise korrigeerimisega suunata. Üheks suurimaks metaani tootjaks on kariloomad, mis viitab asjaolule, et mida suurem nende arvukus, seda suurem on ka kahju keskkonnale. Kuna kariloomad vajavad suurt osa põllumajanduslikust maast, siis on otstarbekas uurida ka riikide põllumaa osakaalu seost metaani emissiooni määraga. Lisaks on võetud vaatluse alla metaani eritavate jäätmete osakaal, mis on seotud suuresti majandusliku tegevusega jäätmekäitluse planeerimisel ja mõjutab keskkonda otseselt. Vaatluse all on ka majanduslikud näitajad, mille puhul võib oletada seoseid riikide majandusliku aktiivsuse, sisemajanduse koguprodukti ja metaani emissiooni vahel.

Viimase majandusliku tegurina vaadeldakse riikide panust teadus- ja arendustegevusse ning selle seost riigi metaani koguemissiooniga.

Töö koosneb teoreetilisest ja empiirilisest osast. Esimeses peatükis käsitletakse metaani tekkepõhjuseid ja olemust. Seejärel analüüsitakse metaani emissiooni põhjuseid läbi majandusliku vaatenurga. Et rõhuasetus töös on põllumajandusliku metaani tekkel, siis vaadeldakse eraldi peatükis metaani emissiooni seost põllumajandusega. Peatüki lõpetab varasemate uurimuste analüüs antud teemadel, mida autor on pidanud oluliseks ja siduvaks.

Teine peatükk algab empiiriliste andmete ülevaate ja kirjeldava statistika analüüsiga. See tähendab, et antakse ülevaade empiirilise osa andmebaasist, misjärel on võimalik tutvustada empiirilise analüüsi meetodikat ja püstitada ökonomeetiline mudel. Empiiriline analüüs on läbi viidud andmeanalüüsipaketiga Gretl ja Excel ning visualiseeritud samuti Excelis.

Viimases peatükis käsitletakse empiirilise analüüsi tulemusi ja hinnatakse mudelit. Seejärel pannakse kirja järeldused tulemuste kohta, vastatakse püstitatud uurimisküsimustele ja arutletakse teemat puudutava vajalike muudatuste üle.

Uurides antud teemat, soovib autor anda oma panuse keskkonnaprobleemide teadvustamisse laiemale publikule ning soovib pöörata tähelepanu võimalusele, et valides õiged käitumismudelid on võimalik parandada meie kõigi ühiskondlikku heaolu ja austada loodust, mis lõppkokkuvõttes meil siin planeedil olla võimaldab.

1. METAAN MEID ÜMBRITSEVAS KESKKONNAS

Töö esimese peatükiga vastatakse sissejuhatuses püstitatud esimesele uurimisküsimusele, antakse ülevaade metaanist kui olulisest kasvuhoonegaasist ning selle tekkepõhjustest. Seejärel tuuakse välja majanduse roll metaani emissioonil, mis on mõjutatud riikide majandusliku aktiivsuse ning panusega teadus- ja arendustegevusse. Neid tegureid on oluline vaadelda läbi taastuva energiakasutuse eesmärkide täitmise, mis on seotud transpordisektoriga ja biometaanitootmise laiendamise ning selleks vajalike tehnoloogiate arendamisega. Järgmises osas kirjeldatakse metaani rolli põllumajanduses ehk näidatakse, mil määral põllumajandusest tingitud tegevus mõjutab kasvuhoonegaaside heitemäära. Viimases osas heidetakse pilk varasematele uurimustele valdkondades, mis on olulised metaani emissiooni vähendamisel.

1.1. Metaan kui kasvuhoonegaas ja selle tekkepõhjused

Kliimamuutused on laialdaselt teadvustatud kui kõige kriitilisemat väljakutset. Kliimamuutused on globaalne probleem, mis vajab globaalset tegutsemist võitluses ülemaailmse soojenemise vastu. Selleks on loodud Kyoto protokoll, mille eesmärgiks on vähendada kasvuhoonegaaside õhku paiskamist. (Kyoto... 2008, 4) Kyoto protokollis määratletud kasvuhoonegaase on kokku 6 (*Ibid.*, 106):

- 1) süsinikdioksiid ehk süsihappegaas (CO₂);
- 2) metaan (CH₄);
- 3) diämmastikoksiid ehk naerugaas (N₂O);
- 4) fluorosüsiivesiniku ühendid (HFC);
- 5) perfluorsüsiiniku ühendid (PFC);
- 6) väävelheksafluoriid (SF₆).

Leppe eesmärgiks on vähendada kasvuhoonegaaside poolt tekitatud kasvuhooneefekti, mis tekib päikesekiirguse neeldumisel maale, mil kasvuhoonegaaside tulemusena atmosfäär soojeneb (Moss *et al.* 2000, 232). Elu seisukohast maal on see oluline protsess, milleta elu planeedil ei oleks

võimalik, kuid samas ei tohi kasvuhoonegaaside määr kasvada. Vastasel juhul tõuseb maa temperatuur ja tagajärjed sellele on elulise tähtsusega. Võimalikeks probleemideks on nii veevarude otsalõppemine, märgalade laienemine kui kõrbestumine. Selline olukord tekitab võimaluse haiguste tekkeks, mis ähvardavad nii loomi kui inimesi. Samuti häirub kliimasoojenemisel kogu ökosüsteem ja metsad (*Ibid.*, 233)

Seepärast on loodud Pariisi kliimakokkulepe, mille kohaselt tuleb hoida maailma keskmist temperatuuri alla 1,5 kraadi võrreldes tööstusrevolutsioonieelse ajaga, mis aastal 2015 oli veel 2°C (*Haustein et al.* 2017). Seda probleemi süvendab asjaolu, et kasvuhoonegaaside heitkogus on viimase kahekümne aasta jooksul üha suurenenud (*Oras et al.* 2018, 160).

Kasvuhoonegaase esitatakse CO₂ ekvivalendina. Süsihappegaas on põhiline kasvuhoonegaas, mida mõõdetakse CO₂ ekvivalentides (ekv) mis võrdub 1 tonni CO₂ heitmega. Kuna metaanil on kasvuhooneefekti potentsiaal 25 korda suurem, siis korrutatakse see 25-ga. (Kliimapoliitika... 2016, 8) Metaani elueaks peetakse 12 aastat (*Wanapat et al.* 2015, 96).

Kui sajandite jooksul on inimtegevuse tagajärjel domineerinud kliima soojendajana süsinikdioksiid, mis on olemuselt kumulatiivne, siis viimaste kümnendite jooksul on probleem üle kandunud ka nn lühema elueaga saastajatele (*Allen et al.* 2018). Metaan kuulub kasvuhoonegaaside hulka, mis soodustab kliima soojenemist (*Segers* 1998, 23) ning on nii öelda lühikese elueaga gaas (*Allen et al.* 2018). Sellest hoolimata on metaan 25 korda suurema kasvuhooneefekti potentsiaaliga kui süsinikdioksiid (*Storm et al.* 2012).

Metaan on olemuselt värvitu, lõhnatu, kergesti süttiv gaas (*Methane...* 2019, 1), mida leidub maakoore all ja meresügavustes (*Ibid.*, 2). Metaan on üks gaasidest, mida leidub rohkelt atmosfääris ja see tekib nii looduslikult kui inimtegevuse tagajärjel (*Climate Science...*). Metaani olemasolu atmosfääris on avastatud 1940. aastatel. Mitmed uuringud näitavad selle tõusu teatud perioodidel. Selle põhjuseks on arvatud olevat rahvaarvu kasv ning nii inimtekkelised kui looduslikud põhjused. (*Moss et al.* 2000, 233)

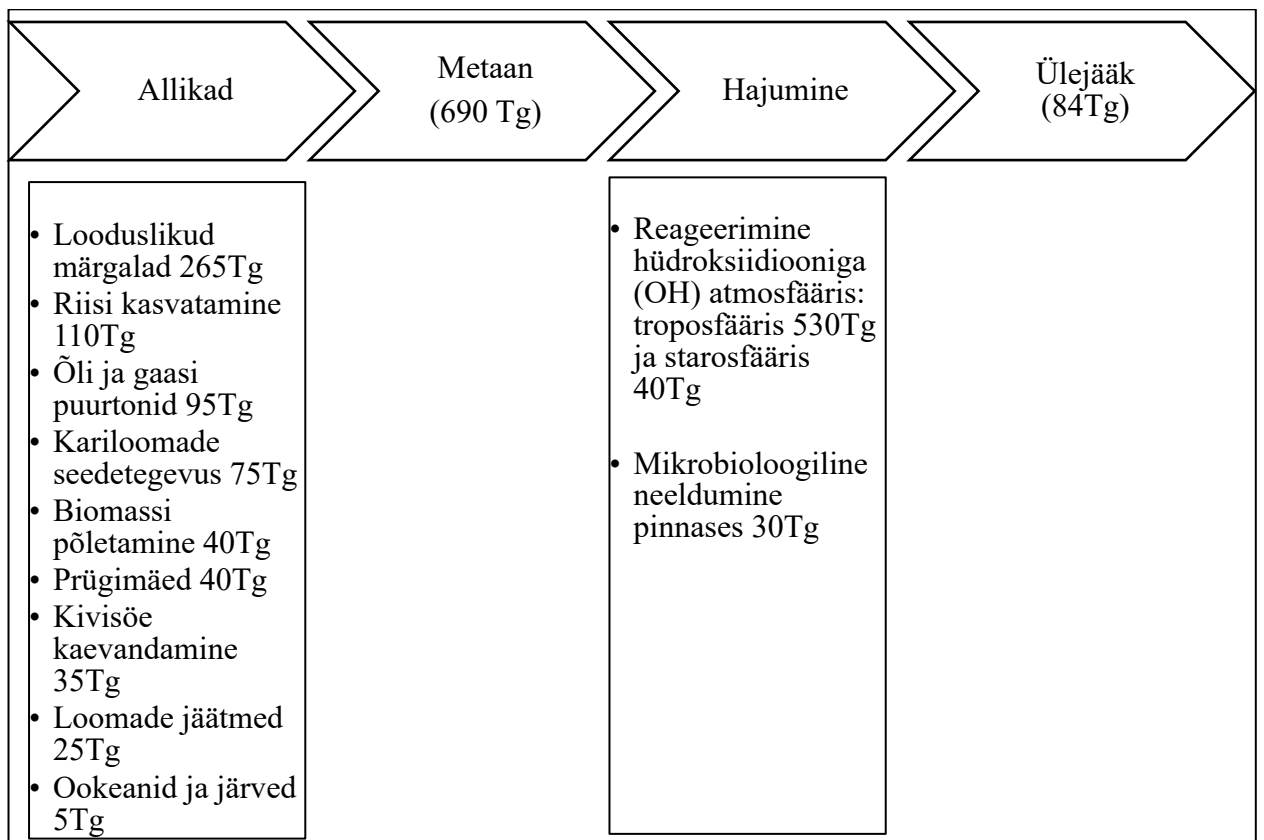
Looduslikul teel tekib metaan soodest, märgaladest, ookeanitest, metaanhüdraatidest ja ka termiitide elutegevuse tagajärjel (*Dlugokencky et al.* 2011, 2059). Metaan tekib mikrobioloogilise protsessi tulemusena keskkonnas, kus puudub hapnik (*Segers* 1998, 23). Metaani leidub soodes ja märgalades, kust lendub seda 20% ulatuses koguemissioonist. Eestis on soode osakaal maismaast

1/5. Seega on need üheks suurimaks metaani looduslikuks allikaks. (Salm 2010) Looduslikul teel tekib metaan pinnases mikroobse tegevuse tagajärjel, misjärel tekkinud metaan vabaneb ning osa sellest kasutavad ära metaanibakterid. Kui pinnas on külmunud või kuivendatud, siis on metaani heidete vood väiksemad. (*Ibid.*) Seda teadmist kinnitab ka uurimus Barentsi mere põhja kivimikihtides oleva metaani kohta, mis viitab, et kliima soojenedes süveneb kasvuhooneefekt, sest jääkate kadumisel muutub külmunud metaanhüdraat ebastabiilseks ja sulab. Seejärel vabaneb metaangaas, mis imbub merepõhjast ülespoole. Seda kinnitavad ka uurimistulemused Barentsi merest viimase jääaja lõpul, mil ligikaudu 10 000 aasta jooksul toimus külmunud metaani sulamine ja lekkimine. (Crémière *et al.* 2016)

Inimtegevuse tagajärjel tekib metaan fossiilkütuste kasutamisest, kariloomade pidamisest, riisi kasvatamisest, jäätmekäitlusest ja biomassi põletamise korral (Dlugokencky *et al.* 2011, 2059). Põllumajandusliku tegevuse tagajärjel tekib ligi 70% metaani emissioonist (Moss *et al.* 2000, 234). Metaan tekib kariloomade elutegevuse käigus, kes moodustavad ligi kolmandiku metaani koguemissioonist (Storm *et al.* 2012). Metaan on mäletsejate toitumise tagajärjel tekkinud jääkprodukt. Seedetegevuse käigus ei kasuta nad ise ära tekkinud metaani ja see väljutatakse kehast, mis on kliimale negatiivse efektiga. (Danielsson *et al.* 2017) Ka riisipõldude harimine, põllumajandusliku maa osakaal ja põldudel kulu põletamine on metaani allikateks (Bates 2001, 2).

Samuti tekib inimtegevuse tagajärjel metaan jäätmekäitluse kõrvalproduktina, mis paiskub atmosfääri prügimägedelt (Themelis *et al.* 2006, 1243). Jäätmete ladestamisel tekib metaan orgaaniliste jäätmete lagunemisel. Aastal 2015 moodustasid orgaanilised jäätmed Eestis 50% kogu jäätmetest. (Kulutõhusaimate... 2018, 20) Osa sellest saaks kasutada taastuvenergia tootmiseks (Themelis *et al.* 2006, 1244). Moodsamates jäätmepunktides kogutakse metaani ja töödeldakse gaasiks. Aastal 2001 oli neid jaamu maailmas umbes 1000 ja ainuüksi Suurbritannias koguti prügimägedelt 2,6 miljonit tonni metaani aastas, millest 70% kasutati kütteks või elektriks. (*Ibid.*, 1243) Eestis oli kasvuhoonegaaside heitkoguseks 2016. aastal 19,6 miljonit CO₂-ekvivalenttonni, millest 2% pärines jäätmekäitlusest, kuid sellest 99% oli metaani osatähtsusega (Oras *et al.* 160).

Joonisel 1 on visuaalselt võimalik näha, kui suur osatähtsus on metaani erinevatel tekkeallikatel ning mis hulgal metaani iseeneslikult hajub ning mis määra ulatuses tekib ülejääk. Jooniselt on näha, et kõige suuremaks tekkepõhjuseks on looduslike märgalade osakaal, kuid sellele järgnevad inimtekkelised põllumajanduslikud tegurid nagu riisikasvatus ja kariloomade pidamine. (Moss *et al.* 2000, 234).



Joonis 1. Metaani tekkeallikad, hajumine ja ülejääk mõõtühikus Tg
Allikas: Autori koostatud allika põhjal (Moss *et al.* 2000, 234)

Kahjuks ei toimu tekkinud metaani hajumine atmosfäärist 100% ulatuses ning probleemseks teguriks on ülejääk. Kasvuhoonegaaside määr atmosfääris on hetkel kõrgeim kui ükskõik millisel muul ajajärgul inimajaloo jooksul ning nende heitkogus on aastatel 2000-2010 kasvanud 2,2% aastas. Perioodil 1970-2000 oli see 1,3%. (Butler *et al.* 2018, 8) Seega tuleb tegeleda nii metaani kui kasvuhoonegaaside määra vähendamise võimalustega atmosfäärist. Käesolev töö keskendub siiski metaani emissiooni hulgale.

1.2. Majanduse roll metaani emissioonil

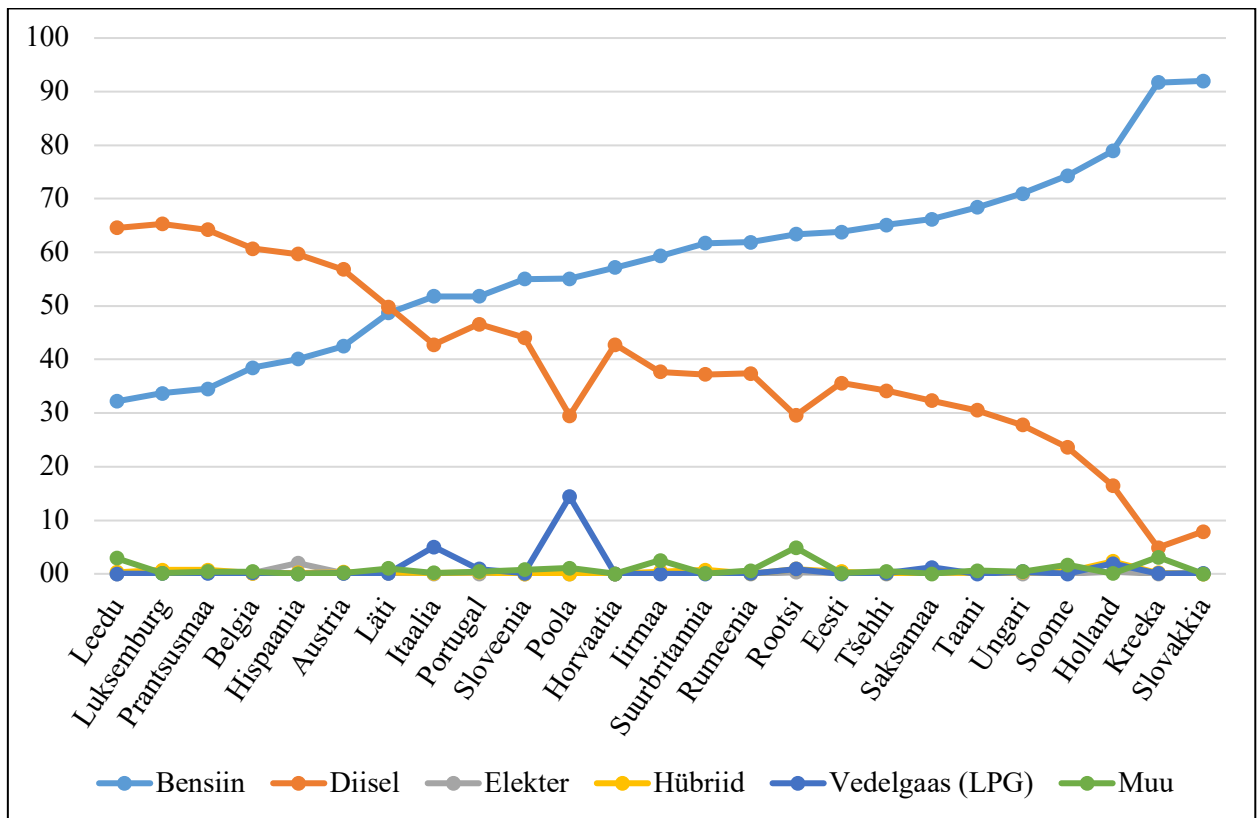
Kliimamuutuste tagajärgede mõju ulatus sõltub riikide võimest sellega toime tulla. Eelkõige tuleneb see riikide majanduslikust ja keskkonnakaitselisest tegevusest. Antud töös on metaani seost majandusega kirjeldatud nii läbi riikide jäätmekäitlusest tekkinud metaani hulga, kui ka läbi sisemajanduse koguprodukti (SKP) ning panuse teadus- ja arendustegevusse. Käesolevas peatükis keskendutakse kahele viimasele tegurile ja leitakse seosed mis viitavad sisemajanduse

koguprodukti ning teadus- ja arendustegevuse (TA) osatähtsusele. SKP seos metaani emissiooniga tuleneb transpordi- ja energiasektorist. Nimelt tuleb taastuenergia eesmärkide täitmisel võtta kasutusele ühe enam alternatiivkütuseid nagu biometaan, mis aitab kaasa jätkusuutliku keskkonna loomisele ning hoogustab majanduslikku aktiivsust. TA-d mõjutab innovatiivsus, teaduse ja tehnoloogiate arendamine ning biometaani tootmiseks vajalike võimaluste laiem kasutuselevõtt.

Majandusliku aktiivsuse sõltuvus metaaniga tuleneb erinevatest tegevustest, mis hoogustavad majandust ja tõstavad SKP-d. See väljendub transpordisektoris, mille puhul panustatakse biometaani tootmisesse ja laiendatakse selle kasutuselevõttu. Need tegevused omakorda aitavad täita taastuenergia eesmärgi. Eesti energiamaajanduse energiasäästu ja taastuenergia eesmärkide täitmisel tuleb lähtuda Euroopa Liidu energiatõhususe direktiivist 2012/27/EL, mille kohaselt on liikmesriikidel kohustus aastaks 2020 saavutada iga-aastane energiasääst 1,5% energiamaajanduse lõpptarbijatele (Riigi üldine... 2018, 5). Sellest tulenevalt rajatakse energiatõhususkohustuste süsteem ja kasutatakse alternatiivmeetmeid (energiamaksud, keskkonnatasud ja rahastamiskavad). Energiatõhususe meetmete hindamine näitab, et transpordi valdkond on kõige suurema potentsiaaliga (*Ibid.*). Vastavalt Euroopa Liidu taastuenergia direktiivile 2009/28/EÜ (EP ja EN direktiiv 2009/28EÜ), tuleb aastaks 2020 moodustada taastuenergia osakaaluks transpordisektoris 10%. See tähendab, et fossiilsete kütuste tootmisele tuleb leida alternatiive. Selle plaani järgimisel tuleb mõelda eelkõige keskkonnasõbralikkusele. Üheks alternatiiviks on biogaasi kui taastuva kütuse tootmine, mille kasutuselevõtt fossiilsete kütuste asemel vähendab kasvuhoonegaaside suurenemist atmosfääris. (Oja 2013, 11) Biogaas on bioloogilise materjali anaeroobse kääritamise teel saadud gaasiline kütus, mis koosneb 45-70% metaanist, 30-40% süsinikdioksiidist ja muudest komponentidest. See tekib looduses hapnikuvabas keskkonnas. Tehislikult luues, tuleb tekitada samad tingimused kääritus, mille temperatuur on 37°C, keskkond anaeroobne ning olemas on piisav kogus biomassi. Puhastatud biogaas on biometaan. Puhastamise eesmärgiks on tõsta metaani sisaldust ja vähendada süsinikdioksiidi, mis tagab parema kütteväärtuse. (Vohu 2015b, 9)

Transpordisektori energiakasutuse arengu visioon aastaks 2050, tagab eelkõige energiasäästlikuma tehnoloogia kasutuselevõtt, alternatiivsete kütuste kasutuse suurendamine ja kaubamahtude osaline liikumine raudteele. Keskkonnasõbralikku hoiakut soosib elanike üha kasvav teadlikkus. Transpordikulutuste vähenemisega kaasneb omakorda sisemajanduse kogutoodangu kasvu (Energiamaajanduse arengukava ...2017, 58). Heast visioonist hoolimata on tänane olukord selline, et kütuse tarbimise katab 90% ulatuses maanteetransport. Transpordisektori üheks suurimaks

väljakutseks on just nimelt kütuse tarbimise kasv, mis on viimase 16 aasta jooksul kasvanud kolmandiku võrra. Mõnevõrra vähenes see majanduslanguse aastateil 2008-2009. (*Ibid.*) Kahjuks ei ole alternatiivseid kütuseid kasutavad sõidukid just kõige enam soositud ning seda seletab joonis 2. Tulemus on riigiti erinev ning kõige suuremaid erinevusi võib leida bensiini ja diisli eelistuste osas. Siiski saab välja lugeda, et kõige suurem hübriidautode osakaal on Hollandis (2,3%) ja seejärel Rootsis (0,9%). Vedelgaasi kasutus on laialdane Poolas (14,4%), millele järgneb Itaalia (5%). Elektriautode osakaal on sarnane hübriidautode järjestusele. Nii Hollandis kui Inglismaal on see 0,4% ja Rootsis 0,3%. Seega on järjest olulisem pöörata tähelepanu just alternatiivsete kütuste tootmisele ja eesmärkide saavutamiseks liikuda järk-järgult efektiivsema kütusetarbimisega sõidukipargi suunas (*Ibid.*, 60).

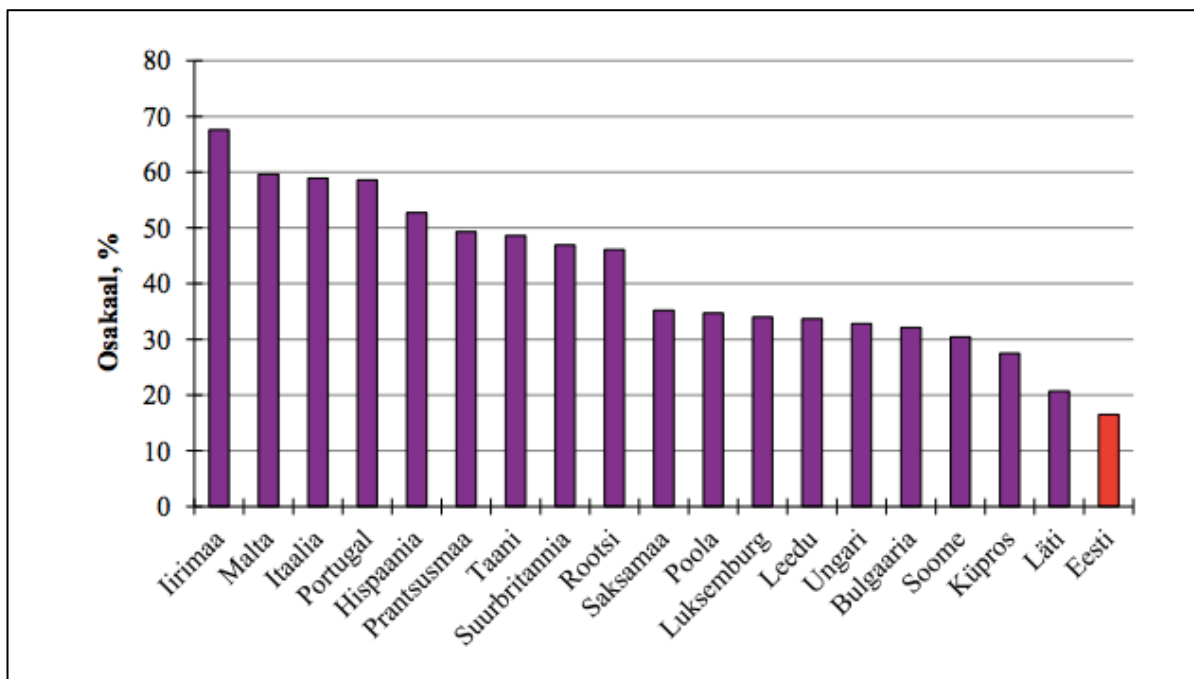


Joonis 2. Kütusetüübi järgi kasutusel olevate autode osakaal protsentides kogu kütuse mahust valitud Euroopa riikide näitel 2015. aastal.

Allikas: Autori koostatud lisa 1 alusel.

Sõidukite heitkoguseid määratakse vastavalt kasvuhoonegaaside (KHG) kogusele. Sõiduk on efektiivne, kui selle heitkoguseks on alla 130g/km. Eestis on ebaökonomsete autode osakaal väga suur ja paranemine on olnud tagasihoidlik. Keskmise KHG heitkogus oli 1990. aastal 206 g/km ja 2011. aastal 188g/km (Energiamajanduse arengukava... 2017, 60). Kõige tõhusama sõidukipargiga

paistab silma valitud Euroopa Liidu riikide seast Iirimaa, Malta, Itaalia, Portugal (joonis 3) ja kõige suurema heitkoguse tulemusega on Eesti, millele järgneb naaberriik Läti.



Joonis 3. Sõidukite osakaal protsentides registreeritud sõidukite hulgas, mille KHG heitkogus on väiksem kui 130g/km

Allikas: (Energiamajanduse arengukava ...2017, 61)

Euroopa Liidu taastuvenergia direktiivi kohaselt saab transpordisõltuvust naftast vähendada kõige enam läbi taastuvatest energiaallikatest toodetud energia ja energiatõhusate tehnoloogiate kasutamise transpordis. Samuti on oluline leida stiimul ühistranspordi laiendamiseks. (EP ja EN direktiiv 2009/28EÜ) Selle soodustamiseks tuleb teha vastavad muudatused ühistranspordiseaduses (Oja 2013, 17). Taastuvatest energiaallikatest toodetava energia arendamine ja energiatõhususes suurendamine peavad olema omavahel tihedalt seotud, et vähendada kasvuhoonegaaside heitkoguseid ja vähendada sõltuvust energiainpordist (EP ja EN direktiiv 2009/28EÜ). Näiteks maagaasi ja fossiilsete vedelkütuste asendamine taastuva biometaaniga, mis on kohalikul tasandil toodetud, muudab väliskaubanduse bilansi positiivseks (Oja 2013, 53). Siinkohal on oluline roll rahaliste vahendite eraldamisel. Eelkõige peaks pidama tähtsaks taastuvenergia tehnoloogiate uurimist ja arendamist (EP ja EN direktiiv 2009/28EÜ).

Kuna biometaani tootmine on kulukas, siis tuleks selle tootmist toetada ühiskondlikult. See tähendab investeeringutoetust, müügihinna toetust, käibemaksuvabastust biometaani tootmisele ja otsetoetusi kohalike omavalitsuste poolt. (Oja 2013, 24) Toetussüsteemide kavandamisel tuleks

soodustada selliste biokütuste kasutamist, mis annavad lisakasu. Näiteks kasu, mida saadakse biokütuste tootmisel jäätmetest, jääkidest, toiduks mittekasutatavatest tselluloosmaterjalidest ja vetikatest. Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiivi kohaselt võivad liikmesriigid soodustada investeerimist kõnealuste ja selliste muude taastuvenegiatehnoloogiate uurimisse ja arendamisse, mis vajavad konkurentsivõime saavutamiseks aega. (EP ja EN direktiiv 2009/28EÜ)

Vohu (2015a, 4) leiab, et biometaani tootmine ei ole mõeldav toetuseta, kuna selle tootmine võrreldes konkureeriva toote maagaasiga on tunduvalt kulukam. Toetuste eesmärgiks on kaasa aidata biometaani tarbimise ja tootmise hoogustamisele ning toetada tegevusi, mis panustavad 2020. aasta eesmärki toota transpordikütust 10% ulatuses taastuvatest energiaallikatest. Selleks on vastu võetud erinevad määrused transpordi- ja taristuministri poolt (Biometaaniturude arendamise ... 2017; Biometaani transpordisektoris... 2015):

- 1) biometaaniturude arendamise toetamise toetuse kasutamise tingimused ja kord;
- 2) biometaani transpordisektoris tarbimise toetamise tingimused.

Biometaani nõudluse tekitamiseks saavad toetust ka kohalikud omavalitsused ja maavalitsused (Riik toetab... 2015). Biometaani edulugu toetub tugevatele omavalitsustele kombineerituna elanike kõrgele keskkonnateadlikkusele (Oja 2013, 24). Kui bussifirmadel on biometaani ostukohustus teatud hinna piires, siis hoogustub ka metaani tarbimine. Liinivedude toimimist biometaani kasutusele võtt ei takista. Vastupidiselt, tarbitav gaas võib olla nii maagaasi kui biometaani segu. Pikas perspektiivis on biometaani kasutuselevõtt keskkonnasõbralikum ja stabiilsema hinnaga ning parandab Eesti energiajulgeolekut. (Riik toetab... 2015)

Biometaani tootmine on oluliseks sammuks jätkusuutliku ja taastuva energia kasutuselevõtuks ning see on heaks alternatiiviks maagaasile. (Adelt *et al*, 2011, 646) Lisaks on biometaani eeliseks maagaasi ees 80% madalam heitme määr (*Ibid.*, 650). Biometaani kasutuselevõtu teeb ka lihtsamaks asjaolu, et kus kasutatakse maagaasi, on võimalik kasutada ka biometaani (Vohu 2015b, 9). Eestis toodetava biometaani potentsiaal on 450 miljonit Nm³ (normaalkuumpeetrit), millest 80% moodustaks rohtne biomass. Kahjuks jääb Eestis igal aastal 1,4 miljonit tonni rohtse biomassi kuivainet kasutamata. (Vohu 2015b, 59) Biometaani kasutuselevõtu korral, oleks sellel otsene mõju ja lisandväärtus (SKP) 41 mln €/a (Vohu 2015a, 20).

Metaani osatähtsus majanduses on küllaltki suur, kuid võime osata seda oskuslikult kasutada ja suunata ühiskonda seda aktsepteerima, määravad vastavad meetmed. Nimelt on siinkohal oluline

roll vastava poliitika kujundamisel nii riigi tasandil kui üle-euroopaliselt. Olles Euroopa Liidus, tulevad taastuenergia eesmärgid kõige kõrgemalt ning seejärel kehtestatakse see alles riigitasandil ja omavalitsustasandil. Suutlikkus metaani koguda ja toota gaasi on lisaks keskkonnale ka majanduslikku aktiivsust soosiv.

1.3. Metaani emissioon põllumajanduses

Kasvuhoonegaaside heitkoguseks oli Eestis 2016. aastal 19,6 miljonit CO₂-ekvivalenttonni, millest 7% pärines põllumajandusest, kuid sellest 57% oli metaani osatähtsusega (Oras *et al.* 160). Põllumajanduslikust tegevusest tekib ligi 70% metaani, mis on põhjustatud inimtegevuse poolt ning põllumajanduslikust metaanist 35-40% on põhjustatud kariloomade poolt. (Moss *et al.* 2000, 234). Metaani määr põllumajandusest on tõusnud ligi 332% alates 1890. aastast. (Butler *et al.* 2019,13) Kariloomad on üheks kõige kiiremini arenevaks põllumajandussektori osaks arengumaades, mille on põhjustanud kiire kasv loomsete toodete järele, mis on tingitud suurest rahvaarvu kasvust linnastumise ja kõrgemate sissetulekute tõttu arenenud riikides (Wanapat *et al.* 2015, 96). Suurem nõudlus loomsete toodete järele avaldab ilmselgelt negatiivset mõju keskkonnale. Arenenud riikide tähelepanu kasvuhoonegaaside suhtes on määranud kokkulepped kliimamuutustest tingitud probleemide üle. (*Ibid.*, 98)

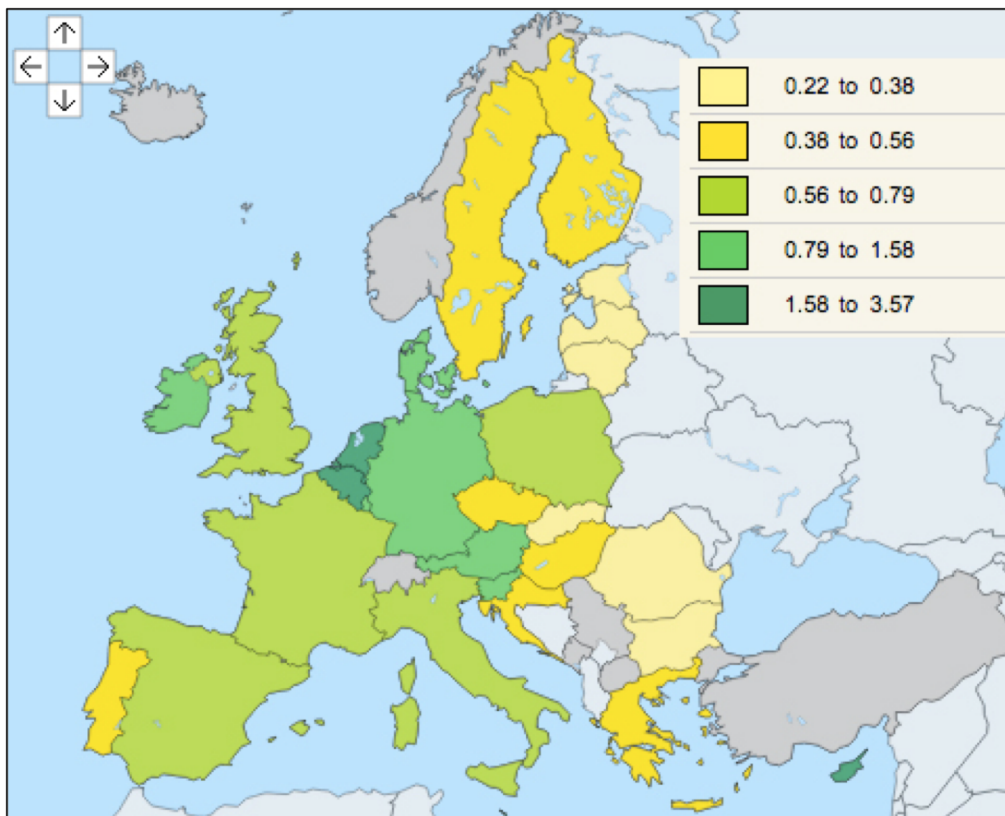
Metaan põllumajanduses on mäletsejate toitumise tagajärjel tekkiv jääkprodukt. Seedetegevuse käigus ei kasuta nad ise ära tekkinud metaani ja see väljutatakse kehast, mis on kliimale negatiivse efektiga. (Danielsson *et al.* 2017) Kariloomad ja eriti mäletsejad moodustavad kolmandiku metaani emissiooni määrast ning metaanil on 25 korda suurem ohtlikkuse potentsiaal kui süsinikdioksiidil (Storm *et al.* 2012). Kasvuhoonegaaside ühiseks mõõtühikuks on kasutusele võetud CO₂-ekvivalent, millega väljendatakse kõikide kasvuhoonegaaside mõju läbi süsinikdioksiidi määra (Butler *et al.* 2019, 7).

Põllumajandusest tekkiva metaani olulisemateks tekkepõhjusteks saab nimetada soolesisest fermentatsiooni ja sõnnikukäitlust. Metaan, mis on tekkinud loomade seedetegevuse tulemusena on soolesisene fermentatsioon (Bates 2001, 2). Soolesisene fermentatsioon on kariloomade seedetraktis oleva tarbitud sööda kääritamine mikroobsete organismide mõjul, misjärel tekib metaan ja see eraldub peamiselt hingamise kaudu (Kliimapoliitika... 2016, 17). Igal aastal toodetakse 80 miljonit tonni metaani globaalselt ainuüksi soolesisese fermentatsiooni tulemusena

(Wanapat *et al.* 2015, 97). Sõnnikukäitluse puhul tekib metaan sõnnikuhoidlas orgaanilise aine lagunemisel anaeroobsetes tingimustes. Oluline on märkida, et metaani heitkogus sõltub sõnnikukäitluse puhul sõnniku ladustamise viisist ehk hoidla tüübist ja temperatuurist. (*Ibid.*, 21)

Metaani arvutamiseks kasutatakse loomakasvatuse statistikat ja IPCC (Valitsusvaheline Kliimamuutuste Paneel) poolt välja töötatud koefitsiente. (*Ibid.*, 21) Seega metaani emissiooni kogumäär sõltub ühe looma heite määrast (Bates 2001, 37). Veisekasvatus annab kõige suurema panuse metaani heitkogusesse, milleks on 85kg metaani ühe veise kohta aastas. Lüksilehmad tootsid metaani 141kg 2015. aasta seisuga, mis 1990. aastal oli veel 102kg (Kulutõhusaimate... 2018, 20). Veised ja piimalehmad toodavad metaani märkimisväärset määral (Butler *et al.* 2019, 7). Veiste ja piimalehmade all on 83% põllumaast, mis toodab 60% ulatuses kasvuhoonegaase (Carrington 2018).

Joonisel 4 on näha kariloomade tihedus ehk loomade arvukus põllumaa hektari kohta Euroopa Liidu riikides 2013. aasta seisuga. Täpsemalt on vaatluse all hobused, veised, lambad, kitsed, sead, kanad ja jänesed. Joonis näitab, et kõige suurem kariloomade tihedus on Hollandis (3,57) ja Belgias (3,21), mis ületab Euroopa Liidu riikide keskmise (0,97) mitmekordselt. Samas kõige madalama tihedusega on Bulgaaria (0,22) ja Läti (0,26). Iirimaal on kariloomade arvukus hektari kohta üle keskmise ehk 1,2 looma hektari kohta. Siiski on just põllumajandus Iirimaal vastutav suure hulga metaani õhku paiskumise eest (Tzemi *et al.* 2018, 1). Heidetatavatest kasvuhoonegaaside määrast on Iirimaal põllumajandus vastutav 33% ulatuses, mis on Euroopa keskmise kõrval (10%) tunduvalt kõrgem. See on eelkõige tingitud suurest veiste arvukusest ja vähesest rasketööstus osakaalust. (*Ibid.*, 2) Kahjuks põllumeeste suhtumine ei ole kaasa aidanud põllumajandusest tekkiva kasvuhoonegaaside emissiooni vähendamisele. (*Ibid.*, 1)



Joonis 4. Kariloomade tihedus hektari kohta 2013. aasta seisuga Euroopa Liidu riikide näitel. Allikas: Autori koostatud Eurostati andmete põhjal lisa 2 alusel

Metaani vähendamiseks soovitatakse kasutada uusi tehnoloogiaid, kütuse kasutuse väiksemal määral tarbimist, uute sõidukite ja masinate kasutuselevõttu ja talude enda energia tootmist (Butler et al. 2018, 14). Tehnoloogiate kasutuselevõtt vähendab metaani määra vähem kui 20%, mis hetketrendi jätkudes ei ole piisav (Butler et al. 2018, 14). Põllumajanduses on metaani vähendamiseks vajalik vähendada mäletsejate elutegevuse käigus tekkinud metaani hulka (Storm et al. 2012). Üheks võimaluseks on vähendada loomade arvukust (Bates 2001, 39). See tähendab, et muuta tuleks toitumisharjumusi loomse toidu tarbimise vähendamiseks (Butler et al. 2018, 14). Teiseks võimaluseks on muuta kariloomade toitumist (Danielsson et al. 2017). See muudaks loomade produktiivsust ja parandaks mao efektiivsust (Bates 2001, 39). Need strateegiad varieeruvad ja ei ole pika-ajalise efektiga (Danielsson et al. 2017).

Arvestades suurt vaesuse määra ja nälga, on ühiskonna jaoks oluline toidu kättesaadavus. Seega tuleb siiski mõelda lahendustele, mis tagavad loomade säilimise, kuid samas metaani vähema tootlikkuse nende poolt. Strateegiad loomade toitumisharjumuste muutmiseks on erinevaid. Metaani tekke vähendamiseks võib välja tuua võimalused muuta kontsentratsioonide, toidulisandite, orgaaniliste hapete sisaldust toidus. Samuti on võimalus kasutada antibiootikume, mis muudavad

loomade bakteriaalset keskkonda ning vaksineerida loomi teatud metaanibakterite suhtes. (Wanapat *et al.* 2015)

Lisaks eelpool nimetatud võimalustele on teisigi variante, mis ei ole seotud kariloomade arvukuse vähendamisega. Kasvuhoonegaaside osakaalu vähendab ka biogaasi tootmine põllumajanduslikust ressursist (Meyer-Aurich *et al.* 2011, 277). Igal aastal jääb Eestis 1,4 miljonit tonni rohtset biomassi kasutamata, mida saaks kasutada biometaaniga tootmiseks. See moodustab 80% Eestis toodetava biometaaniga potentsiaal, mis on 450 miljonit Nm³ (Vohu 2015b, 59). Tabelis 1 on välja toodud Eesti biometaaniga potentsiaal toormeliikide kaupa. Kasutamata jäänud rohumass purustusniidetakse ja jäetakse rohumaadele lagunema (Vohu 2015a, 7).

Tabel 1. Eesti biometaaniga potentsiaal toormeliikide kaupa

Toorme liik	biometaaniga potentsiaal mln Nm ³ /a	osakaal %
Rohtne biomass põllumajandusmaadelt	375	83,3
Põllumajandustootmise jäägid	44	9,8
Tööstusprotsesside jäätmep	17	3,8
Prügilagaas	9	2,0
Muud jäätmep (reoveesete, biojäätmep)	5	1,0
Kokku	450	100,0

Allikas: Vohu (2015a, 7)

Eestis olevast põllumajandusmaast jääb kasutamata kolmandik ehk 300 000-350 000 ha ning selle tootmine biometaaniga, on võimalus ressursi paremaks kasutamiseks (*Ibid.*, 8). Ka Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiivi kohaselt pakub põllumajandusliku tooraine kasutamine biogaasi tootmiseks märkimisväärseid keskkonnamoeliseid nii soojus- kui muu energia ja biokütuste tootmisel. Samuti võivad biogaasi tootmisrajalised anda märkimisväärse panuse maapiirkondade säästvasse arengusse ning pakkuda põllumajandusettevõtjatele uusi sissetulekuallikaid. (EP ja EN direktiiv 2009/28EÜ) Biometaaniga kasutuselevõtu korral, oleks selle lisandväärtuseks Eestis (SKP) 41 mln €/a (Vohu 2015a, 20).

Eelpool loetletud võimalused metaaniga pidurdamiseks võivad tunduda kulukate tegevustena. Siiski on võimalusi see teostada kuluefektiivselt ning kuna metaan on lühikese elueaga gaas, siis igasugune heitkoguse vähendamine annab kiire tulemuse (Dlugokencky *et al.* 2011, 2058).

Järgneva peatükiga antakse ülevaade uurimustest, mis toovad välja metaani tekkepõhjused ja võimalikud lahendused.

1.4. Varasemad uurimused

Kliimamuutused on äratanud laialdast tähelepanu mitmetes ringkondades alates teadusasutustest kuni erinevate tööstusharude ja valitsuseni. See tähendab, et võtta vastu õigeid otsuseid, peab igas valdkonnas olema tagatud teaduslike uurimuste olemasolu. Need on aluseks õige kliimapoliitika kujundamisel, sest teaduslikud uurimused, mis tuginevad teaduslikel faktidel, on kõige aluseks. (Hongbo 2019) Seega tuleb arvestada, et igas tegevusvaldkonnas on tarvis tegutseda asjatundlikult ja leida võimalusi kliimamuutuste vähendamiseks.

Varasemad uurimused metaani emissiooni seostest põllumajanduse ja majandusega on läbi viidud erineval moel. Autor toob esile uurimused, mis:

- 1) analüüsib metaani teket ja kasvutrendi;
- 2) mõõdab veiste poolt toodetavad metaani määra;
- 3) analüüsib põllumeeste teadlikkust põllumajandusest tekkiva kasvuhoonegaasi määra kohta.
- 4) analüüsib põllumajandusvaldkonna suuniste mõju hindamist õhuheitmetele ja majandusele;

Esimesed kaks uurimust on olulised seletamiseks metaani teket, kontsentratsiooni kasvu atmosfääris ja selle tekke hulka läbi suurimate emiteerijate ehk veiste. Kolmanda uurimuse puhul analüüsitakse põllumeeste teadlikkust metaani tekke kohta Iirimaa näitel. Iirimaa on üheks suurimaks metaani emissiooni tekitajaks võrdluses Euroopa riikidega. Kuna põllumeeste vastutada on heite hulga vähendamine, siis ilmneb, et see on seotud panusega teadus- ja arendustegevusse. Viimane uurimus on antud töö kontekstis vaadeldav kõige olulisemana, kuna see seob omavahel nii heite määrad kui seda mõjutavad tegurid kvantitatiivselt (Eesti näitel).

Järgnevalt kirjeldab autor kokkuvõtvalt uurimuste sisu:

- 1) Enne kui arendatakse välja metaani vähendamise strateegiad, tuleb aru saada selle tegevuse eelarvest. Metaan paikub atmosfääri looduslikul viisil ja inimtekkeliste tegurite tagajärjel. Inimtegevuse tagajärjel tekkinud heitkoguseid on võimalik vähendada ka kuluefektiivsel

teel. Esmalt tuleb mõista, et metaan hajub atmosfääri ka iseeneslikult. Kõige peamiseks hajumise protsessiks on metaani reageerimine hüdroksiidiooniga (OH) troposfääris ja stratosfääris. Vähemal määral reageerib metaan klooriga mere piiril, hapniku aatomitega stratosfääris ja osküdeerub pinnases metaanibakteritega. Metaani määr on tõusnud 2,5 mõõtühiku võrra võrreldes tööstusrevolutsioonieelse ajaga. (Dlugokencky et al. 2011, 2059) Metaani tõus atmosfääris alates töösturevolutsioonieelsest ajast kuni tänapäevani on põhjustatud fossiilkütuste kasutamise, põllumajanduse, jäätmekäitluse ja inimtekkelise biomassi põletamise pärast. Fossiilkütustest tekkinud metaan on tingitud kivisöe ja maagaasi kaevandamisest, töötlemisest ning mahajäetud kaevanduste pärast. Põllumajandusest tekib metaan riisi kultiveerimise ja kariloomade tõttu. Jäätmete puhul on metaani allikaks biolagunevad jäätmed prügimägedel. Biomassi põlemine on tingitud põllumajanduslikust eesmärgist põletada kulu ja raiejäätmeid. (*Ibid.*, 2060) Tabelis 2 on välja toodud uurimistulemused mõõtühiku põhiselt, milleks on Tg CH₄ yr⁻¹ ehk aastane metaani heitkoguse ühik Tg on võrdne 10¹² grammiga. Võrdluse all on mõõtmistulemused metaani tekkepõhjuse järgi kahest erinevast allikast erinevatel perioodidel. Kõige suurema inimtekkelise heitkoguse määra eest on vastutav energiasektor fossiilkütuste ja maagaasi tootmisega (110 Tg). Maagaasi tootmine on sellest suurema osakaaluga ehk 63 Tg ja ülejäänud 47 Tg kuulub kivisöele. Seejärel on olulisel kohal ka kariloomade osakaal põllumajanduses (90 Tg). Loodusliku metaani tekitajana on suur tähtsus märgaladel ja soodel.

Uurimus toob esile ka metaani tekke geograafilised iseärasused. Metaani mõõtmistulemused jääajal olid poole väiksemad kui vahejääajal. Madala temperatuuriga ja jääga kaetud paikades oli metaani määr jääajal nullilähedane. Murettekitav on kiiresti sulav Arktika. Probleemiks on jää sulamine ja üha laienev märgalade osakaal, mis reageerib kiirelt kliima soojenemisele ja mõjutavad oluliselt metaani emissiooni. Taigas ja tundras on metaani emissioon seotud tulekahjude sageduse ja temperatuuri muutusega. Kliima soojenedes võivad ka tulekahjud sagedeneda.

Metaani globaalset keskmist kasvumäära on kirjeldatud perioodil 1983-2009, mis perioodi alguses kuni 1990. aastateni oli veel kahaneva trendiga. Alates aastast 1999 kuni 2006 oli see veel suhteliselt konstantne. (*Ibid.*, 2062) Sellele järgnev kasvutrend paneb muretsema, et ehk on põhjuseks Arktika aktiveerumine kliimasoojenemise tagajärjena (*Ibid.*, 2065).

Tabel 2. Metaani heitkogused tekkeallika järgi

	mõõtühik Tg CH ₄ yr ⁻¹	
	1984-2003.a	1997-2006.a
<i>Inimtekkelise tagajärjega metaani tekkeallikad</i>		
Energia tootmine: fossiilkütused, maagaas	110	74–106
Põllumajandus: kariloomad	80–90	76–92
Põllumajandus: riisi kultiveerimine	30–40	31–112
Jäätmed	50–60	35–69
Biomassi põletamine	45–55	14-88
<i>Loodusliku tagajärjega metaani tekkeallikad</i>		
Märgalad: sood, tundra	147	100–231
Termiidid	23	20–29
Ookean	19	4-15

Allikas: Autori koostatud allika andmete põhjal

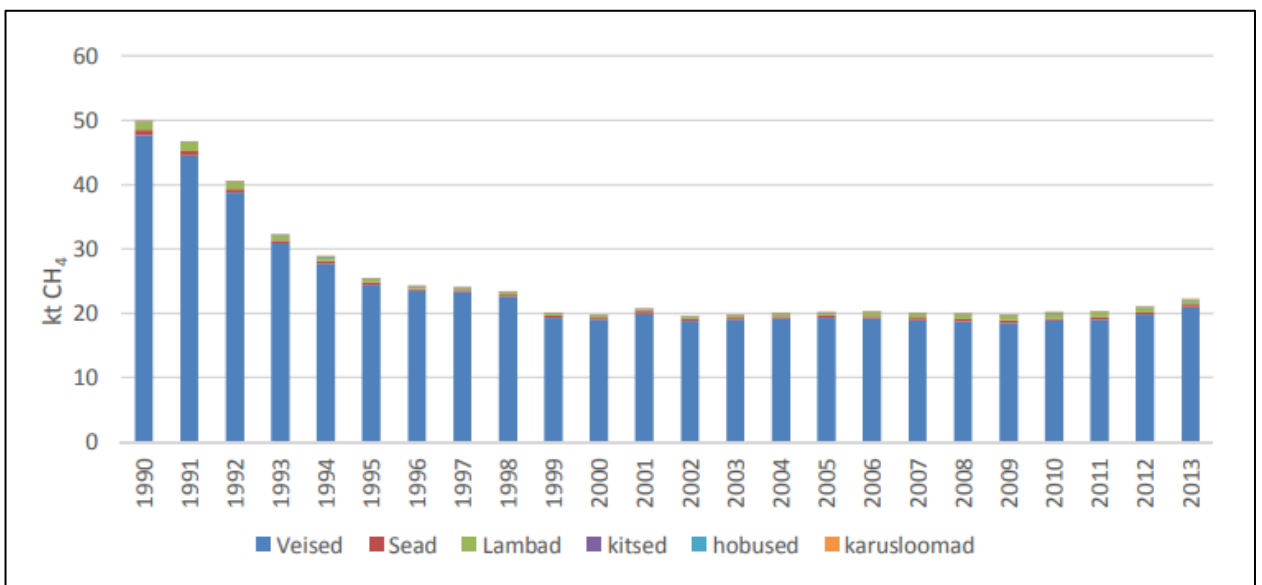
Uurimusest ilmneb, et metaani vähendamist saab teostada kuluefektiivselt ning seda annab edukalt teha ka madalate kuludega põllumajandus- ja energiasektorist ning jäätmemajandusest, kui toota hõlpsalt metaani. (*Ibid.*, 2067) Näiteks kütusetööstuse puhul piisab tehnoloogia uuendamisest, operatiivsete protsesside parendamisest ja metaani lekete vähendamisest. Põllumajandussektoris on oluline sõnnikukäitluse planeerimine ja metaanibakterite vähendamine looma seedekulglas. Prügimägedelt eraldub 50% ulatuses metaani, mille saaks töödelda biogaasiks ja toota energiat ning kütust. Kivisöe kaevandused on ohuallikaks ning sealt tekkiv metaan tuleks samuti ümber töödelda. Isegi madala metaani sisaldusega allikad on võimalik muuta kasulikuks. (*Ibid.*, 2068)

- 2) Uurimus keskendub loomade poolt tekitavale metaani hulgale nende seedetegevuse tulemusena. Geneetiliselt toodavad loomad metaani erinevalt, isegi kui anda sama toitu (Danielsson *et al.* 2017). On veel ebaselge, mis seda põhjustab, kuid see arvatakse olevat tingitud mao suurusest. Toitu on tarvis vähem lagundada väiksemas maos, kui suuremas. Varasemad uuringud on leidnud korrelatsiooni teatud tüüpi metaanibakterite ja kõrgema metaani tootmise vahel, aga ka teatud toidulisandite vahel, mis viitab sellele, et teatud substraati pooldavad teatud metaanibaktereid. (*Ibid.*) Uurimused, kus mõõdeti metaani,

toovad välja päriliku faktori kariloomade vahel, mis võimaldaks madalamat metaani toomist (*Ibid.*). Katse käigus anti piimalehmadele sama toitu. Hüpoteesiks seati, et sarnase seedimise ja toitumisega lehmad võivad toota erineval määral metaani, mis on tingitud looma mao bakteriaalsest kooslusest. Statistilise analüüsi käigus kasutati fikseeritud ja juhusliku efektiga paneelandmeid iga looma kohta kolme perioodi jooksul. Leiti, et 73 lehma tulemused varieerusid 282 grammist kuni 408 grammini päevas, mille keskmiseks on 318 g/päev. Analüüsist ilmneb, et looma seedimisvõime ja piima tootlikkus ei mõjuta metaani määra, vaid vastavate mikroobioomide olemasolu ehk mikroorganismide ökoloogiline kooslus looma sees. (*Ibid.*, 13).

- 3) Iirimaa näitel saame rääkida uurimusest põllumeeste valmisolekust viia läbi metaani emissiooni vähendamiseks tingitud muudatused. Põllumeeste suhtumine ei ole kaasa aidanud põllumajandusest tekkiva kasvuhoonegaaside emissiooni määra vähendamisele (Tzemi *et al.* 2018, 1). Uurimus on läbi viidud 746 Iiri põllumehega 2014. aastal. Tulemused viitavad põllumeeste ebamäärasusele põllumajandusest tuleneva kasvuhoonegaaside suhtes ja nende vastumeelsusele midagi ette võtta. Põllumeeste käitumise uurimiseks kliimamuutuste osas kasutati vastuste hindamiseks multinomiaalset logistilist regressiooni, et hinnata põllumeeste kohanemisvõimet kasutamaks vastavaid tehnoloogiaid kasvuhoonegaaside vähendamiseks. (*Ibid.*, 1) Mudel jagas vastanud kolme gruppi: jah, ei, ei tea (*Ibid.*, 7). Selgus, et teadlikkus kliimamuutustest oli positiivses seoses vastava tehnoloogia omaksvõtuga. (*Ibid.*, 1) Multinomiaalne logistiline regressioonimudel näitas, et mida rohkem nõu saavad põllumehed, seda rohkem on nad nõus ka uusi tehnoloogiaid kasutama (*Ibid.*, 8). Vastanutest üle poolte 53,3% nõustusid, et inimtekkeline kasvuhoonegaas on kliimamuutuste puhul määrav ja 18% sellega ei nõustunud (*Ibid.*, 5). Ainult 35,2% vastasid, et on nõus uusi tehnoloogiaid kasutusele võtma kasvuhoonegaaside vähendamiseks (*Ibid.*, 7).
- 4) Uurimuses on välja toodud metaani heitemäärad ja seos nii majanduslike kui põllumajanduslike teguritega. Põllumajandusvaldkonna mõjude hindamise arengudokument sisaldab poliitikasuuniseid kasvuhoonegaaside heite vähendamiseks põllumajanduse valdkonnas vähemalt 80% aastaks 2050 võrreldes 1990. aasta tasemega. Selleks on koostatud kaks erinevat baasstsenaariumi BAU ja KPP_1. (Kliimapoliitika... 2016, 5) Mõjuanalüüsi kirjeldavad eeldused on võrdsed ja need erinevad ainult kliimameetmete suuremas mahus rakendamise poolest. (*Ibid.*, 8) See tähendab, et

majandusmõju hinnati põllumajanduslike indikaatorite järgi nagu koduloomade (veiste, sigade, kodulindude) arv, maakasutus (teravilja- ja rapsikasvatuses) ning biometaani tootmismahud. Aruandest selgub, et põllumajandus on pärast energeetikavaldkonda järjestuses teine heitkoguste allika mahu poolest (*Ibid.*, 10). Samuti viidatakse seosele, et aastatel 1990-2013 on heitkogused vähenenud plaanimajanduselt turumajandusele ülemineku tõttu, mis oli tingitud suurtootmise kadumisest ja kariloomade arvu kahanemisest. Põllumajandusest tekkinud metaani heitkogus oli 2013. aastal 624 kt, lämmastikdioksiidi 626 kt ja süsinikdioksiidi 9,4 kt (*Ibid.*, 16). Koguheitte vähenes võrreldes 1990. aastaga 53%. Vaatamata koguheitte vähenemisele, on metaani hulk looma kohta tõusnud ning prognooside kohaselt jätkub 2010. aastal alanud veiste arvukuse tõus. Peamine metaani heitkogus tekib veisekasvatusest, mis moodustas põllumajandusvaldkonna koguheitest 44%. Joonisel 5 on välja toodud metaani heitkogused loomakasvatusest, millest ilmneb veiste protsentuaalne ülekaal (ligi 95%) võrreldes teiste liikidega.



Joonis 5. Metaani heitkogused loomakasvatusest, mõõtühik kt CH₄.
Allikas: (Kliimapoliitika... 2016, 20)

Majandusmõjude hindamise põhilised erinevused tulenevad biometaani kasutuselevõtu mahust ning kodumaisest tootmisest. Sotsiaalmajandusliku mõju indikaatoriks kasutati SKP (sisemajanduse koguprodukti) muutust, mis oli KPP_1 stsenaariumi puhul perioodil 2015-2050 positiivne ja suureneb keskmiselt 60 mln €/a. Samuti tekib aastaks 2050 juurde 200 töökohta valdkonnaga seotud majandusharudesse. (*Ibid.*, 6) Heitkogused on valitud

vastavalt kättesaadavusele ja hulgale meetodikate Tier 1, Tier 2 või Tier 3 abil. Algmeetod Tier 1 puhul kasutatakse lisaks riiklikele algandmetele ka eriheiteteguri vaikeväärtust. Keskmise meetodi Tier 2 puhul kasutatakse riiklike algandmeid ning eriheitetegureid. Tier 3 on aga kõige keerukam, mille puhul on vaja täpseid saasteallika algandmeid. (*Ibid.*, 8) Heitkoguste prognoosimisel selgub, et KPP_1 stsenaariumi puhul on kasvuhoonegaaside vähendamisel oluline parem sööt loomadele, põllumajanduslikust toorainest biometaanitootmise laiendamine, sõnnikuhoidlate seisukorra parendamine ja turvasmuldadel paiknevate põllumaade üle viimine püsirohumaade alla (*Ibid.*, 59). Tulemuseks leiti, et BAU stsenaariumi korral kasvavad kasvuhoonegaasi heitkogused võrreldes 2013. aastaga 37% ja KPP_1 stsenaariumi korral 26%. Põllumajandussektoris tuleks suurendada tootlikkust ja efektiivsust vähendamaks heitkoguse toodangut. Selle võimaldamisel on oluline roll riigipoolsetel meetmetel, teadus- ja arendustegevusel, innovatsiooni edendamisel. Loomakasvatuse puhul tuleb tähelepanu pöörata tõuaretusele, sööda kvaliteedi parandamisele ning tõhusamatele loomapidamispraktikatele. (*Ibid.*, 33).

Uurimuste kokkuvõtteks saab öelda, et metaani osakaal atmosfääris suureneb ja sellekohased mitmed uurimused on tõestanud, et tegemist on ohtliku gaasiga, mille mõju ei tohiks alahinnata. Analüüsides on välja toodud suurimad tekkallikad vastavalt metaani emissioonile, mille põhjal on võimalik prognoosida, kust tuleks alustada arengukavadega vähendamaks metaani kasvu. Esimesest analüüsist selgus, et suures osas metaani määra kasvu eest on vastutavad kariloomad ning et metaani vähendamist atmosfäärist saab teostada ka kuluefektiivselt. Teises uurimuses toodi välja kariloomade eripära ja võimekus toota metaani erineval hulgal, isegi kui nende toitumisharjumused on samad. Siinkohal on metaani vähendamise puhul oluline roll põllumeestel, kes loomakarja üleval peavad. Kolmas uurimus keskendubki põllumeeste teadlikkusele probleemist, millest selgub, et pigem on Iirimaa põllumehed vastumeelsed midagi ette võtmaks, kuid leiti seos tehnoloogia kasutuse ja teadlikkuse vahel. See tähendab, et mida rohkem võimaldatakse kasutada erinevaid tehnoloogiaid, seda teadlikumad on ka inimesed põllumajandussektoris. Viimane uurimus võtab kokku kahe erineva stsenaariumiga prognoosi tulemused, mis hindavad põllumajandusvaldkonna suuniste mõju õhuheitmetele ja majandusele, põllumajandusele. Ilmneb, et valides parema stsenaariumi, siis on küll võimalik metaani heitkoguseid vähendada.

2. ANDMED JA METOODIKA

Teises peatükis antakse ülevaade andmetest ja metoodikast, mida kasutatakse empiirilise analüüsi koostamisel. Seejärel püstitatakse ökonomeetriline mudel.

2.1. Andmete ülevaade

Mudelanalüüsi läbiviimisel on valimis kasutatud 28 Euroopa Liidu liikmesriigi andmeid 10 aastase perioodi vältel ajavahemikus 2007-2016. Andmed on võetud Eurostati ja Maailmapanga andmebaasist. Need on usaldusväärsed allikad, mida analüüsis kasutada. Osad andmed oli võimalik jätta samale kujule nagu need olid esitatud. Need ei sõltunud riigi suurusest. Andmed, mis sõltusid riigi suurusest, teisendati vastavalt vajadusele ning jagati läbi vastava riigi ja perioodi rahvaarvuga. Olles valinud pikema perioodi, ei oleks saanud andmeid teisendada puuduvate väärtuste tõttu. Koguvalimi suuruseks on 277, mille tegelik suurus võiks 28 riigi ja 10 aastase perioodi korral olla 280. Mõnevõrra väiksem valim on tingitud ühe näitaja kolme väärtuse puudumisest.

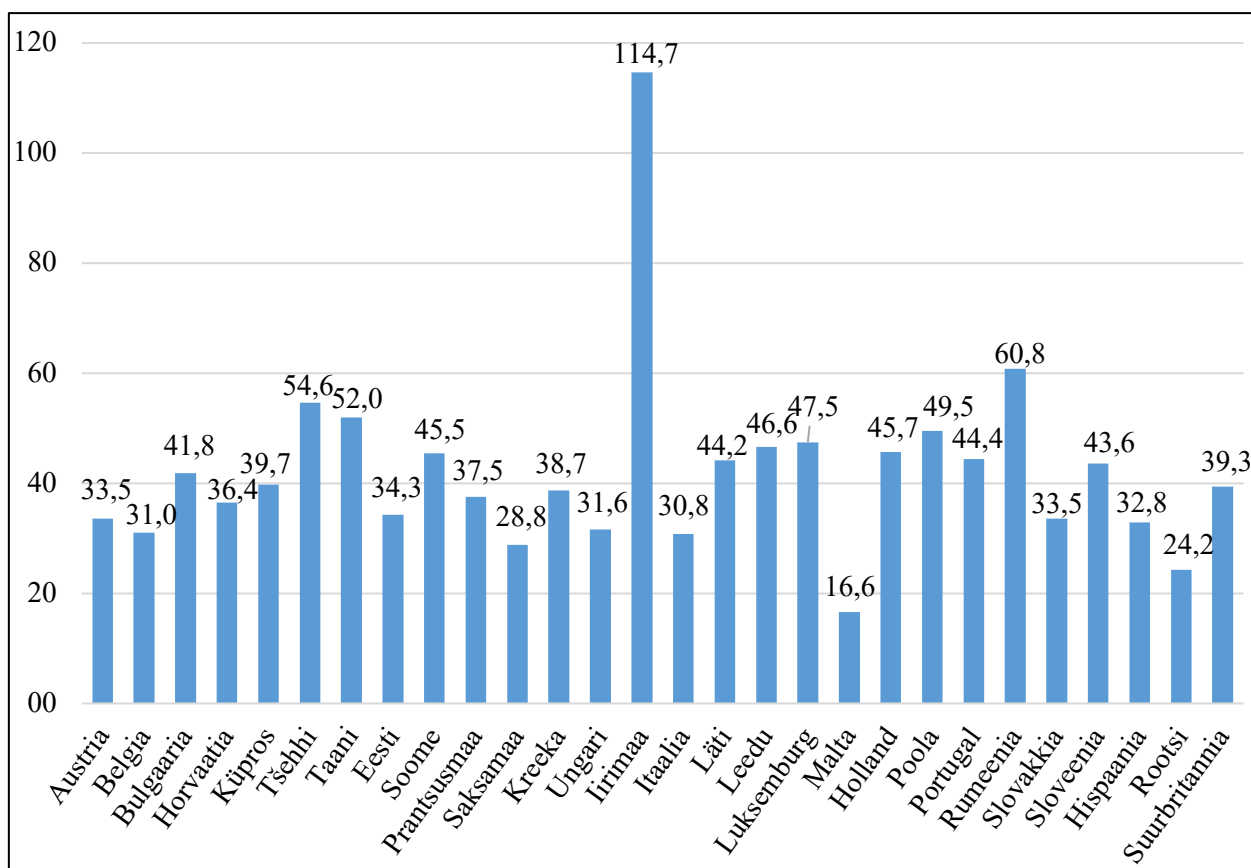
Tabel 3 näitab analüüsis kasutatavate muutujate kirjeldavaid statistikuid, milleks on keskmine, miinimum, maksimum, standardhälve ja variatsioonikordaja. Kõige suurema varieeruvusega on jäätmete näitaja, mille variatsioonikordaja on 2,47. See kirjeldab standardhälve ja aritmeetilise keskmise suhet. Tulemust seletab ka joonis 9, millelt saab välja lugeda, et Küprose jäätmekäitlusest tingitud metaani määr on Euroopa keskmisest 11,3 korda suurem. Kõige väiksema variatsioonikordajaga on põllumaa näitaja. Samuti on leitav tabelist tunnuste mõõtühikud, mis mõne näitaja puhul kirjeldab osakaalu ehk protsenti kas riigi pindalast või protsendist SKP-sse. Ülejäänud näitajate puhul on aga määratletud mõõtühikud ning täpsemad kirjeldused leiab tabeli järel.

Tabel 3. Kirjeldav statistika

Tunnus	kirjeldus	mõõtühik	keskmine	miinimum	maksimum	standardhälve	variatsiooni-kordaja
Metaan	metaani emissiooni määr	kg/elaniku kohta	42,1	14,4	122,6	17,0	0,40
Veised	veiste arvukus	100 000 elaniku kohta	20,8	3,2	144,0	23,9	1,15
Põllumaa	põllumaa osakaal	% riigi pindalast	43,0	7,4	73,1	16,9	0,39
Jäätmed	metaani jäätme-käitlusest	kg/elaniku kohta	55,9	0,6	917,3	138,0	2,47
SKP	SKP <i>per capita</i>	tuhandetes eurodes	25,4	4,2	91,3	16,6	0,65
TA	teadus- ja arendustegevus	% SKP-st	1,5	0,4	3,7	0,9	0,57

Allikas: Autori koostatud Eurostati ja Maailmapanga andmete põhjal

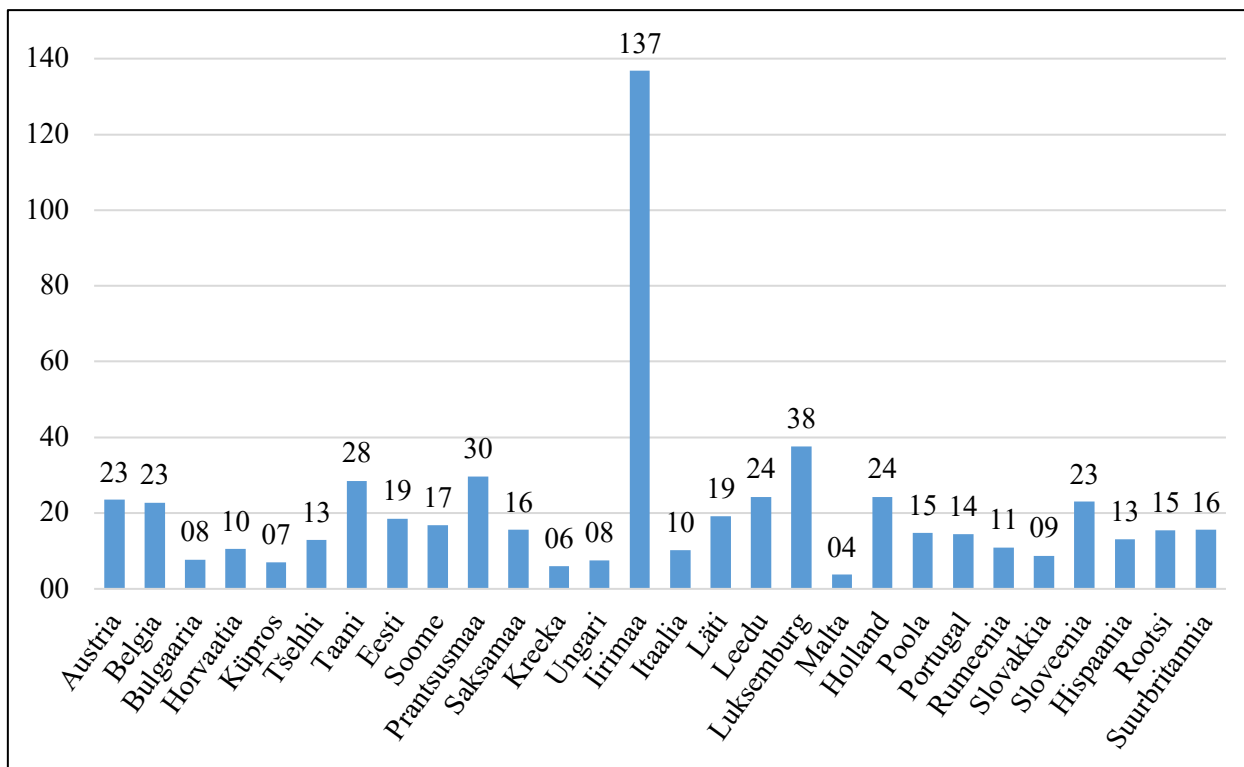
Sõltuvaks muutujaks on metaani emissiooni määr. Algandmed on võetud Eurostati andmebaasist ning esitatud mõõtühikus tuhanded ja miljonid tonnid. Mudelanalüüsis kasutatud andmed on teisendatud kilogrammidesse ning läbi jagatud rahvaarvuga, et see ei sõltuks riigi suuruselt. Seega on metaani emissiooni määr esitatud mõõtühikus kg/elaniku kohta. Joonisel 6 paistab esmalt silma Iirimaa kõrge metaani heite määr (114,1 kg/el) mis ületab keskmist 2,7 kordselt Euroopa keskmisest (41,2 kg/el). Samuti on metaani määr kõrgem ka Rumeenias (60,8 kg/el) ja Tšehhis (54,6 kg/el). Kõige madalama metaani emissiooni määraga on Malta (16,6 kg/el), Rootsi (24,2 kg/el) ja Saksamaa (28,8 kg/el).



Joonis 6. Euroopa Liidu riikide Metaani emissiooni keskmine määr (mõõtühikus kg/el) aastatel 2007-2016.

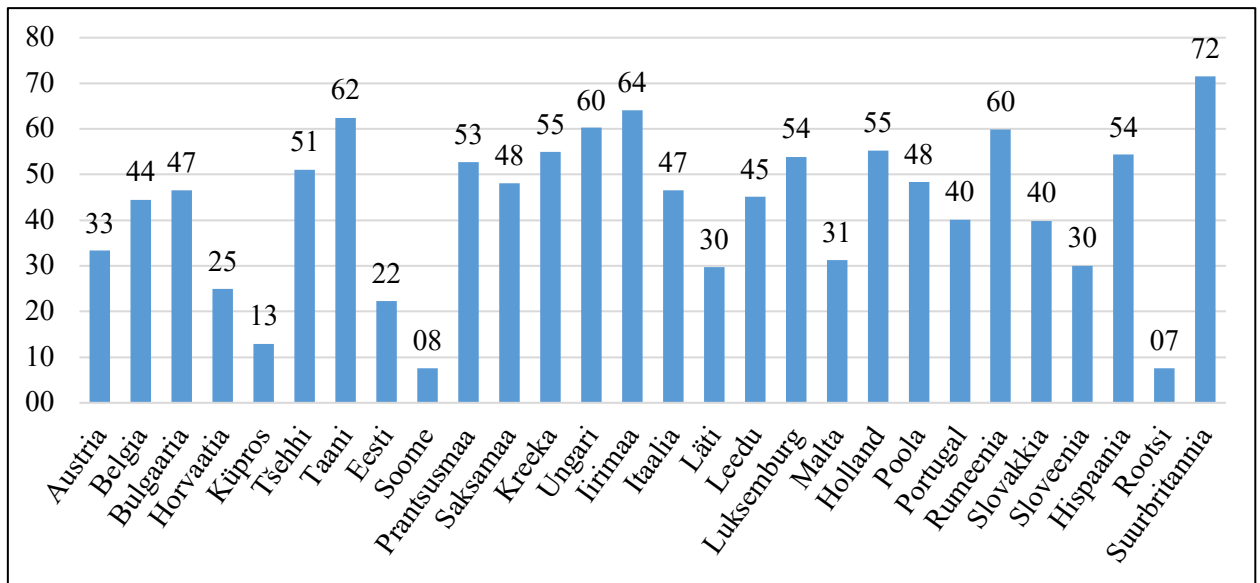
Allikas: Autori koostatud Eurostati andmete põhjal

Esimeseks sõltumatuks muutujaks on mudelisse valitud põllumajanduslik tegur, milleks on veiste arvukuse näitaja. Seda seetõttu, et veised on ühed suurimad metaani tekitajad. Põllumajandusest tingitud tegevuse tagajärjel paiskub õhku 70% metaani emissioonist. Metaani koguemissioonist kolmandik on tingitud kariloomade elutegevusest. Analüüsi asetatud veiste populatsiooni andmed nende arvukuse kohta pärinevad Eurostati andmebaasist. See on aastane näit Euroopa Liidu riikide põhiselt. Veiste arv on parema tulemuse saamiseks jagatud riigi elanike arvuga vastaval perioodil, et see ei sõltuks riigi suuruselt ning seejärel korrutatud 100 000-ga. Seega on veiste näitajaks veiste arv 100 000 elaniku kohta. Antud andmetest puudus Itaalia veiste arv kolmel esimesel vaadeldaval aastal (2007-2009). Joonisel 7 on tulpdiagrammina välja toodud andmed veiste keskmise arvukuse kohta. Kõige suurem on veiste arvukus Iirimaal (136,8 veist), mis erineb Euroopa Liidu keskmisest (20,7 veist) 6,6 korda. Kõige madalam on veiste populatsioon Maltal (3,8 veist) ja Kreekas (5,9 veist). Kui vaadelda kõige suuremaid näitajaid jooniste 6 ja 7 põhjal, siis võib öelda, et metaani emissiooni määr ja veiste arvukus on omavahel tugevalt seotud.



Joonis 7. Euroopa Liidu riikide keskmine veiste populatsiooni arvukus aastatel 2007-2016.
Allikas: Autori koostatud Eurostati andmete põhjal

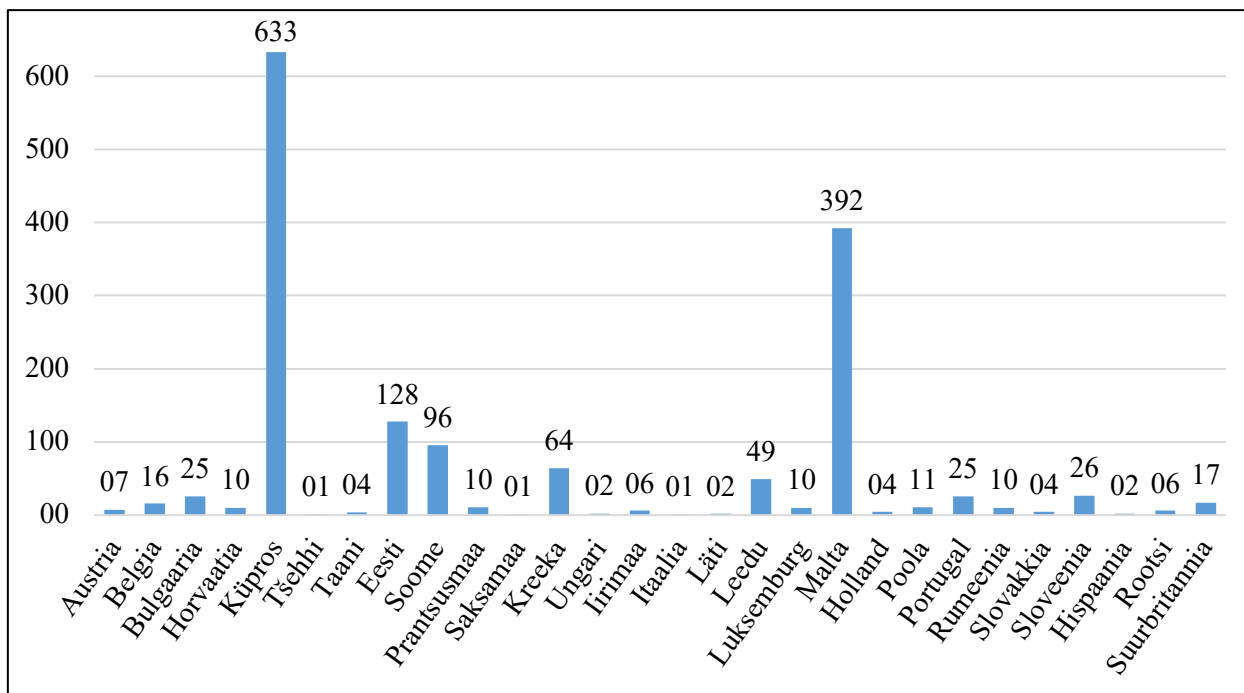
Põllumaa näitaja tähendab põllumaa protsenti riigi pindalast. See viitab sellisele osale pindalast, mis on põlluharitud, pikema perioodi jooksul kasvatatud viljasaagi all või lihtsalt kasutatud karjamaana (vähemalt 5 aastat). Andmed on Maailmapanga andmebaasist ning esitatud esialgsel kujul. Põllumaa osakaal on oluline näitaja keskkonna jätkusuutlikkuse vaatenurgast. Üha enam kaotab maa väärtust tänu liigsele väetamisele ja intensiivsele põlluharimisele. Seega on see heaks näitajaks riikide põllumajanduse kultuuri jätkusuutlikkuse analüüsimisel. Jooniselt 8 on näha, et kõige suurema põllumaa pindalaga riigid on Suurbritannia (71,6%), Iirimaa (64,1%) ja Taani (62,4%). Need kaks viimast riiki on esireas ka veiste arvukuse poolest. Seega võib nende riikide põhjal öelda, et põllumaa osakaal ja veiste arvukus on tugevalt seotud. Kõige väiksema põllumaa osakaaluga riigid on Soome (7,51%), Rootsi (7,49%) ja Küpros (12,9%). Ka siinkohal peab eelnev väide paika, sest nende riikide veiste arvukus jääb alla Euroopa keskmise (21 veist). Lisaks ilmneb, et Iirimaa ja Taanil on samasuunaline seos lisaks põllumaa osakaalule ja veiste arvukusele ka metaani emissiooni määra osas. Antud riikide puhul on metaani emissiooni määr üle Euroopa keskmise (42,1kg).



Joonis 8. Euroopa Liidu riikide keskmine põllumaa osakaal (%) riigi pindalast aastatel 2007-2016.

Allikas: Autori koostatud Maailmapanga andmete põhjal

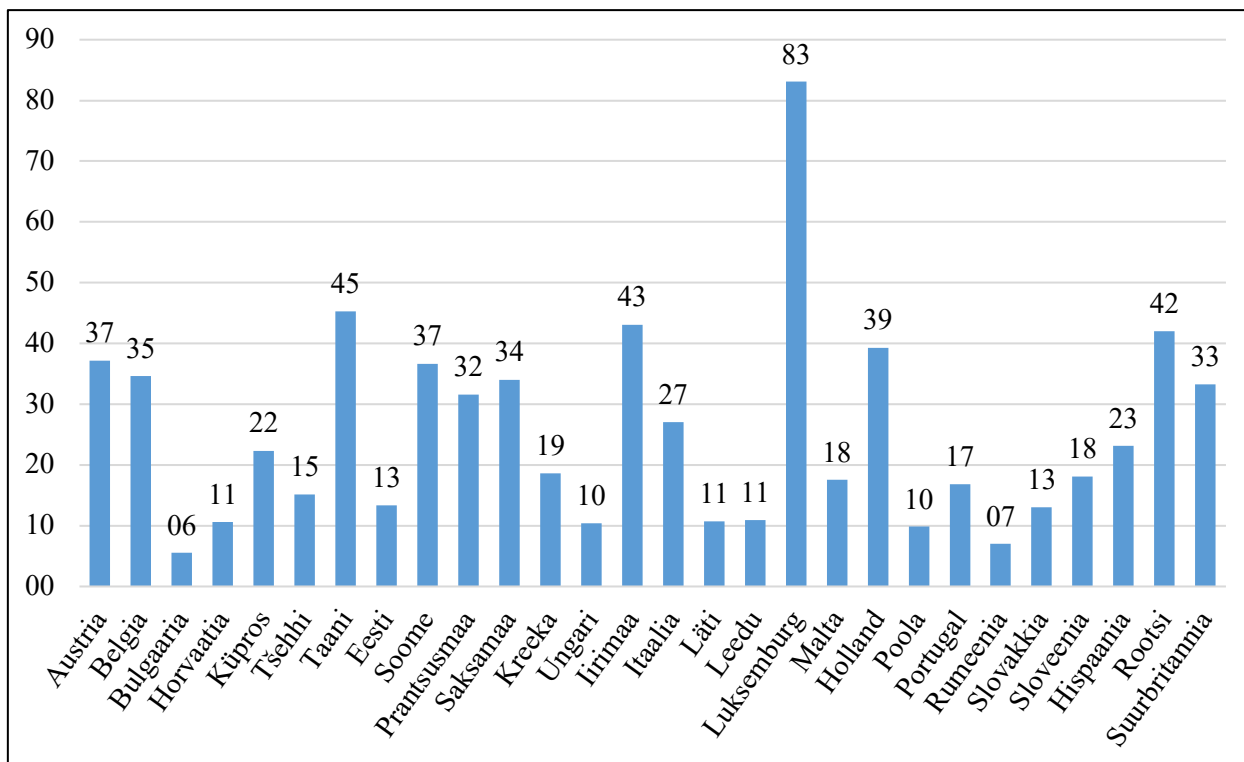
Jäätmete näitaja on võetud Eurostati andmebaasist ning see viitab metaani emissiooni hulga, mis tekib jäätmekäitlusest. Algandmetes on selle näitaja mõõtühik välja toodud tuhandetes tonnides. Näitaja on teisendatud kilogrammidesse ja jagatud riigi elanike rahvaarvuga ehk mõõtühikuks on kg/elaniku kohta. Joonis 9 näitab, et kõige rohkem tekib metaani jäätmekäitluse tulemusena Küprosel, mille tulemuseks on 633 kilogrammi elaniku kohta. Seejärel tekib metaani jäätmekäitlusest kõige enam ka Maltal ja Eestis, vastavalt 392 kg ja 128 kg elaniku kohta. Küprosel ja Maltal on see näitaja väga kõrge ning Küprose väärtus erineb Euroopa keskmisest (55kg) 11,3 korda. Antud andmete (joonis 9) ja joonise 7 põhjal võib öelda, et riikides, kus metaani emissioon jäätmekäitlusest on kõrge nagu Küpros ja Malta, on veiste arvukus madal. See tähendab, et metaani koguemissioon nendes riikides ei saa olla tugevas seoses veiste populatsiooni arvukusega ning selle põhjuseks on probleemid jäätmekäitluses, mille lahenduseks oleks jäätmete parem sorteerimine ja metaani kogumine ning tootmine gaasiks. Kõige vähem tekib metaani jäätmekäitluse tulemusena Tšehhis, Saksamaal ja Itaalias.



Joonis 9. Euroopa Liidu riikide jäätmekäitlusest tekkiv keskmine metaani hulk (kg/el) aastatel 2007-2016.

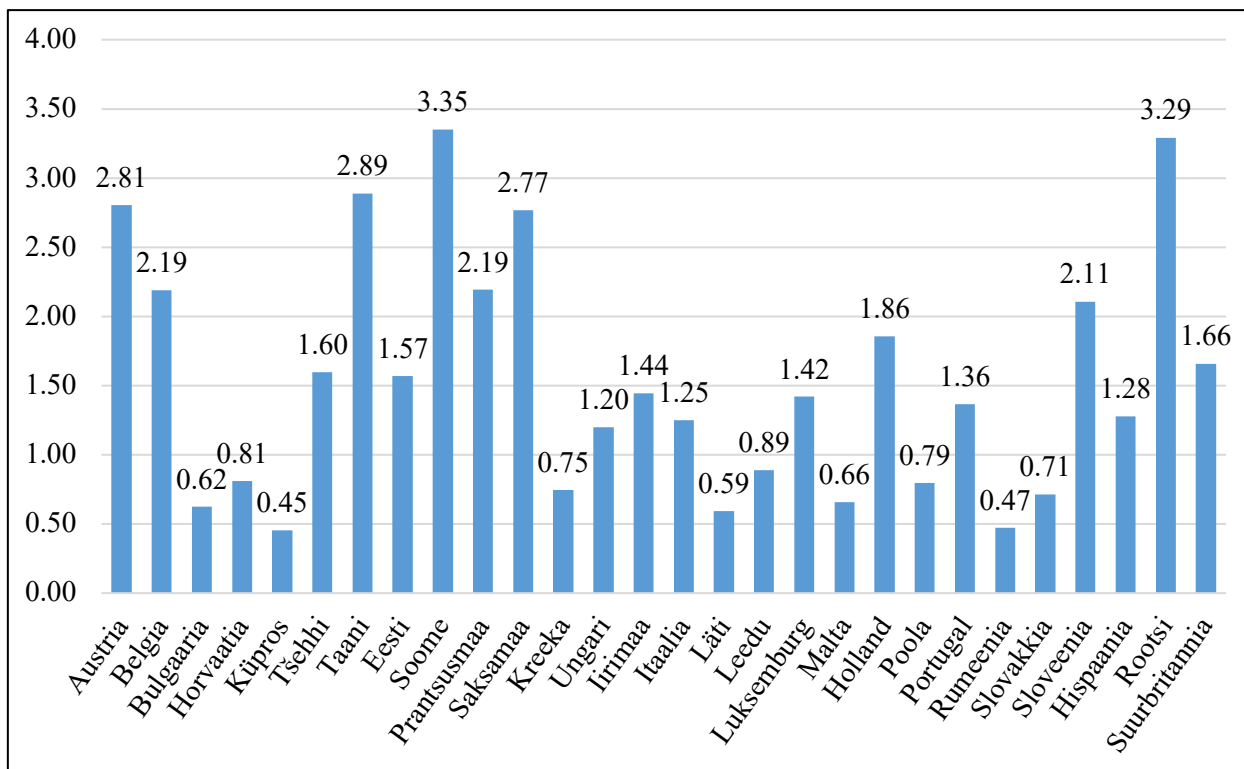
Allikas: Autori koostatud Eurostati andmete põhjal

SKP *per capitat* on vaadeldud majandusliku tegurina, mis sõltub transpordisektorist ja biometaanitootmisest ning selle suuremas mahus kasutuselevõttust täitmaks taastuvenergia eesmärke. SKP näitaja puhul on andmed jagatud tuhandega, mis tähendab, et see on elaniku kohta tuhandetes eurodes. Andmed on Eurostati andmebaasist. SKP on indikaatoriks riigi majanduslikule olukorrale. See peegeldab ühe riigi toodetud kaupasid ja teenuseid perioodil 2007-2016. Aluseks on võetud perioodi keskmine väärtus (joonis 10). Kõige kõrgema väärtusega on Luksemburg, mille keskmine SKP *per capita* on 83 110 eurot elaniku kohta. Luksemburgile järgnevad Taani ja Iirimaa. Majanduslikult vähem aktiivsed on Bulgaaria ja Rumeenia, mille SKP on vastavalt 5520 ja 7010 eurot elaniku kohta. Iirimaa näitel saab öelda, et kõrgema SKP-ga riikides on kõrgem metaani emissioon ja suurem veiste arvukus. Siiski võib tegemist olla kokkulangevusega ning selle põhjal üldisi järeldusi teha ei tohiks. Rumeenia on näiteks madala SKP-ga, kuid kõrge metaani emissiooniga. Rumeenia jääb SKP näitaja poolest Euroopa keskmisele (25 380 eurot elaniku kohta) alla 3,6 korda ning Luksemburg seevastu erineb Euroopa keskmisest 3,3 korda suurema näitajaga.



Joonis 10. Euroopa Liidu riikide keskmine SKP *per capita* eurodes aastatel 2007-2016.
Allikas: Autori koostatud Eurostati andmete põhjal

Teadus- ja arendustegevust (TA) on käsitletud kui majanduslikku tegurit, mis mõjutab metaani emissiooni läbi innovatiivsuse, teaduse ja tehnoloogiate arendamise ning biometani tootmise võimaluste laiendamise. TA näitaja on protsent SKP-st, mis on võetud Maailmapanga andmebaasist. Siinkohal on arvesse võetud riigi kulutused ettevõtlusele, valitsusele, kõrgemale haridusele ja mittetulundusühendustele. Kulutused teadus- ja arendustegevusse on valitsuse ja erasektori vaheliseks võtmeteguriks, et tagada parem konkurentsivõime teaduse ja tehnoloogia valdkonnas. Kulutused TA-le on mõeldud kõikidele riigis resideeruvatele ettevõtetele, instituutidele, ülikoolidele, laboratooriumidele jne. Toetused on välistatud kohalikele ettevõtetele, kes tegutsevad mõnes muus riigis. TA on klassifitseeritud järgmiste valdkondadega: loodusteadused, inseneriteadus ja tehnoloogia, meditsiini- ja arstiteadus, põllumajandusteadus, sotsiaalteadused, humanitaar- ja kunstiteadus. Jooniselt 11 on näha, et kõige rohkem panustavad TA-sse Soome (3,35%), Rootsi (3,29%) ja Taani (2,89%) ning kõige vähem Küpros (0,45%), Rumeenia (0,47%) ja Bulgaaria (0,62%). Küprose näitel võib öelda, et riik, kus metaani määr jäätmekäitlusest on suur, ei panustata piisavalt TA-sse, et probleemi süvenemist vähendada.



Joonis 11. Euroopa Liidu riikide keskmine teadus- ja arendustegevuse osakaal aastatel 2007-2016 (% SKP-st).

Allikas: Autori koostatud Maailmapanga andmete põhjal

Tabelis 4 on esitatud korrelatsioonimaatriks, mis seletab tunnuste vahelisi seoseid ehk juhuslike suuruste vahel esinevat statistilist seost (Sauga 2017, 390). Korrelatsioonimaatriksit kasutatakse erinevate seoste paarikaupa analüüsimisel erinevate tunnuste korral (*Ibid.*, 400). Selgub, et kõige tugevam samasuunaline seos on metaani emissiooni määra ja veise populatsiooni arvukuse vahel, mille korrelatsioonikoefitsient $r=0,836$. See tähendab, et ühe veiste populatsiooni suurenedes, metaani määr keskmiselt suureneb (*Ibid.*, 389). Ka põllumaa on samasuunalise seosega ($r=0,361$). Nõrgema positiivse seosega on SKP ($r=0,145$). Jäätmekäitlusest tingitud metaani määr ning teadus- arendustegevus on negatiivse nõrga seosega (vastavalt $-0,177$ ja $-0,096$), mis tähendab, et nende suuruste kasvades metaani määr keskmiselt kahaneb (*Ibid.*, 390).

Tabel 4. Korrelatsioonimaatriks

Metaan	veised	põllumaa	jäätmed	SKP	TA	
1,000	0,836	0,361	-0,177	0,145	-0,096	metaan
	1,000	0,274	-0,183	0,413	0,139	veised
		1,000	-0,433	0,111	-0,192	põllumaa
			1,000	-0,107	-0,279	jäätmed
				1,000	0,589	SKP
					1,000	TA

Allikas: Autori koostatud Eurostati ja Maailmapanga andmete põhjal

Kuna tugev korrelatiivne seos vihjab põhjusliku seose võimalusele, siis see ei tõesta veel selle olemasolu (*Ibid.*, 392). Sõltumatute tunnuste korral ei ole mõtet neid andmeid vaadelda, sest see ei paku meile lisainformatsiooni (*Ibid.*, 389). Seega järgmises alapeatükis on kirjeldatud kuidas tulemuseni saaks jõuda.

2.2. Metoodika

Käesolevas töös on kasutatud 28 Euroopa Liidu riigi andmeid 10 aastase perioodi vältel. Kuna tegemist on paljude objektide karakteristikutega mitmel ajahetkel, siis nimetakse andmeid paneelandmeteks (Vörk 2003, 4). Paneelandmetega on võimalik anda rohkem informatsiooni ja varieeruvust ning vähem kollineaarsust muutujate vahel, mis tagab hinnangute suurema efektiivsuse (*Ibid.*, 5).

Üks võimalus andmete hindamiseks on kasutada tavalist vähimruutude (OLS) meetodit ehk ühendatud mudelit ilma objektide heterogeensust arvestamata, mille puhul hinnangud on nihkega ja mittemõjusad (*Ibid.*, 15). Kuna see meetod ei arvesta riikide vahelist erinevust, siis selle heterogeensuse arvestamiseks tuleb paneelandmeid analüüsida kas fikseeritud efekti või juhusliku efektiga mudelil. Nende mudelite korral modelleeritakse aditiivset erinevust, mis lisatakse kas vabaliikmele või juhuslikule liikmele. Enne veel tuleb testida vähimruutude meetodi abil multikollineaarsuse olemasolu, kuna seda ei saa mõõta fikseeritud efektiga ja juhusliku efektiga mudelis.

Multikollineaarsuse korral on mudelisse valitud faktorite vahel tugev seos ning kui neid faktoreid on kaks või rohkem, siis vähimruutude meetodil saadud võrrandisüsteemi maatriksi determinant on nulli-lähedane ja seetõttu lähevad parameetrite hinnangud nihkesse (Vainu 2006, 43).

Esialgsel andmete testimisel oli mudelis üks tunnus rohkem, mis tuli parema tulemuse saamiseks välja jätta, kuna esines multikollineaarsus. Juba seepärast ei saanud edasist analüüsi teostada vähimruutude meetodi abil.

Fikseeritud efektiga mudelit on mõistlik kasutada, kui seda rakendatakse ainult valimi objektide kohta ning see ei laiene teistele väljaspool valimit (Vörk 2003, 8). Kõige enam kasutataksegi praktikas gruppidesisest hinnangut. Juhusliku efektiga mudeli puhul lubatakse objektile iseloomulikult efektil olla juhuslik ning sellisel juhul ei ole tegemist ainulaadse objektiga, vaid ühe esindajaga oma grupis. (*Ibid.*, 10) Fikseeritud või juhusliku efektiga mudeli kasutamise üle otsustatakse Hausmani spetsifikatsiooni testi abil.

Fikseeritud efektiga mudeli puhul tuleb testida heteroskedastiivsust, autokorrelatsiooni ja pikkade aegridade korral ka statsionaarsust. Kui objektide arv on oluliselt suurem ajaperioodide arvust, ei ole mittestatsionaarsus probleemiks (Phillips 1999). Heteroskedastiivsuse olemasolu tähendab vealiikme dispersiooni varieerumist. Klassikalise lineaarse regressioonmudeli eelduseks on, et vealiikmete varieeruvus on homoskedastiivne (Gujarati 1995, 355). Sel juhul oleks dispersioon konstantne, heteroskedastiivsuse puhul on see muutuv. Paneelandmete korral võib ühe grupi sees esineda homoskedastiivsus, kuid erinevatele gruppidele vastavad vealiikmed võivad olla erineva dispersiooniga ja siis esineb grupiviisiline heteroskedastiivsus. Selle kontrollimiseks viidi läbi Waldi test, kus ühendatud dispersiooni võrreldakse objektispetsiifiliste vealiikmete dispersioonidega.

Juhul, kui heteroskedastiivsuse testimine fikseeritud efektiga mudeli korral näitab, et heteroskedastiivsus esineb, siis on võimalik mudeli hindamisel kasutada robustseid standardvigu. Neid on soovitatav kasutada, kui heteroskedastiivsust pole õnnestunud likvideerida. Tunnused peavad jääma statistiliselt oluliseks.

Fikseeritud efektiga mudeli korral saab välja tuua ka riigid, kus samade seletavate tunnuste väärtuste korral on sõltuv tunnus kõige suurem või kõige väiksem. Selleks tuleb vaadata objektispetsiifilisi vabaliikmeid.

Sissejuhatuses püstitatud teisele uurimisküsimusele vastamiseks hinnatakse regressioonmudelit, kus sõltuvaks tunnuseks on metaani emissiooni määr ja seletavateks tunnusteks erinevad

majanduslikud ja põllumajanduslikud tegurid. Mudeli parameetrite testimisel selgub, kas mudelisse lülitatud seletavad tunnused mõjutavad metaani emissiooni määra. Selleks koostatakse ökonomeetriline mudel, mille komponentideks on sõltuv (endogeenne) muutuja, sõltumatud (eksogeensed) muutujad, mudeli parameetrid ja juhuslik komponent ehk vealiige. Paneelandmete puhul ka fikseeritud efekt, sest paneelandmed on ristanndmete ja aegridade vaheline kombinatsioon, mis on efektiivsem ja tagab rohkem informatsiooni. Antud andmete puhul on tegemist tasakaalustamata ehk balansseerimata andmetega, mis tähendab, et mingisugusel faktoril on mõni aasta puudu (Wooldridge 2003, 468).

Mudeli üldkuju saab kirja panna järgneva valemiga⁽¹⁾:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 X_{3it} + \beta_4 X_{4it} + \beta_5 X_{5it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

kus

Y – sõltuv muutuja, metaani emissiooni määr

α_i – riigi efekt

$\beta_{1,2,3,4,5}$ – mudeli parameetrid

X_1 – veiste populatsiooni arvukus

X_2 – põllumaa osakaal (%)

X_3 – metaani emissioon jäätmekäitlusest

X_4 – SKP *per capita*

X_5 – teadus- ja arendustegevuse osakaal SKP-st (%)

ε_{it} – vealiige

Alaindeks i tähistab riiki ja alaindeks t ajaperioodi (aasta). Fikseeritud efektiga mudeli korral lisandub α_i vabaliikmele, juhusliku efektiga mudeli korral lisandub see vealiimele ε_{it} .

Mudeli testimisel soovib autor näidata tunnuste vahelisi seoseid. Seoste uurimisel peetakse silmas olukorda, kus ühe tunnuse käitumine sõltub teisest tunnusest (Rootalu 2004). Analüüs seletab näitajate vahelist sõltuvust ehk seost sõltuva ja sõltumatu tunnuse vahel.

3. ANALÜÜS JA JÄRELDUSED

Käesolev peatükk on jaotatud kaheks. Esmalt tuuakse välja eelnevas peatükis kirjeldatud andmeanalüüsi ja meetodite tulemused. Seejärel tehakse tulemuste alusel järeldused, vastatakse sissejuhatuses püstitatud uurimisküsimustele ja arutletakse teemat puudutava vajalike muudatuste üle.

3.1. Analüüs

Lisas 3 on antud mudeli esmase testimise tulemused ühendatud vähimruutude meetodil. Tulemustest selgub, et mudelite korrigeeritud determinatsioonikordaja on 0,769. T-testi olulisuse tõenäosuse tulemuseks oli $p=3,08 \cdot 10^{-85}$. Tabelis 6 on esitatud veel koefitsient, statistiline olulisus ja standardhälve. Tuleb arvestada, et ühendatud mudeli puhul ei pruugi hinnang olla efektiivne ja ei taga piisavalt informatsiooni, siis ei saa me seda tulemust lõplikuks nimetada.

Metoodika peatükis sai mainitud multikollineaarsuse esinemist, mis eelpool analüüsitud ühendatud mudeli puhul ei olnud probleemiks. Mudel vajab muutmist, kui probleemse näitajana oli analüüsi lisatud põllumajandusest tingitud metaani hulk kogu metaani emissioonist. Sellisel juhul olid omavahel tugevas korrelatiivses seoses metaani hulk põllumajandusest ja veiste populatsiooni arvukuse näitaja. Mudeli parendamiseks ja edasiseks testimiseks tuli põllumajandusest tekkinud metaani määr mudelist tunnusena eemaldada. Probleemina saab välja tuua kordajate vastupidise märgi, mis põhjustas ebaloogilisust.

Mudeli põhjuslikkuse leidmiseks järgneb mudeli testimine fikseeritud efektiga mudeli või juhusliku efektiga mudeli abil, mille tulemused on esitatud tabelis 6. Hausmani test (lisa 4) näitab, et olulisuse tõenäosus vähimruutude mudeli korral on 0,00041. Väärtus osutub väiksemaks kui 0,05. Seega on Hausmani testi korral nullhüpotees ümber lükatud ning analüüsi tuleb jätkata fikseeritud efektiga mudeli abil.

Tabel 6. Ühendatud mudeli, fikseeritud efektiga mudeli ja juhusliku efektiga mudeli hindamistulemus

	Ühendatud mudel	Fikseeritud efektiga mudel	Juhusliku efektiga mudel
Näitaja	Mudel 1	Mudel 2	Mudel 3
Konstant	32,307 *** (2,267)	14,757 *** (6,641)	26,059 *** (3,545)
Veised	0,636 *** (0,024)	1,189 *** (0,167)	0,824 *** (0,060)
Põllumaa	0,110 *** (0,037)	0,287 *** (0,092)	0,207 *** (0,058)
Jäätmed	-0,002 (0,004)	0,008 *** (0,002)	0,008 ** (0,003)
SKP <i>per capita</i>	-0,179 *** (0,040)	-0,241 *** (0,099)	-0,244 *** (0,043)
TA	-2,178 *** (0,785)	-2,501 *** (1,213)	-2,701 *** (0,617)
F-rest regressorite testimiseks	-	$3,168 \cdot 10^{-08}$	$1,295 \cdot 10^{-53}$
F-test mudelite võrdlemisel	-	$1,363 \cdot 10^{-82}$	-
Valimi maht	277,0	277,0	277,0
Determinatsioonikordaja	0,774	0,470	0,770

Allikas: Autori koostatud lisa 3, 5 ja 6 põhjal

Märkus: Tabelis on esitatud koefitsient, statistiline olulisus (***) $p < 0,01$; ** $p < 0,05$) ja sulgudes on standardhälve.

Fikseeritud efektidega grupisisese mudeli hindamiseks viiakse automaatselt kahe testi abil läbi vähimruutude meetodil põhinev analüüs. Nendeks on *F*-test regressorite olulisuse testimiseks ja kitsenduste *F*-test objektispetsiifiliste vabaliikmete olulisuse testimiseks ehk fikseeritud efektidega mudeli ja ühendatud mudeli võrdlus. Testides regressorite olulisust *F*-testiga, siis näeme, et teststatistikule vastav olulisuse tõenäosus on väiksem kui 0,05, mille väärtuseks on $3,168 \cdot 10^{-08}$. Seega on vähemalt üks regressor statistiliselt oluline. Fikseeritud efektiga ja ühendatud mudeli võrdlemisel leiame, et objektispetsiifilised vabaliikmed on statistiliselt olulised ning parem on fikseeritud efektiga mudel. Olulisuse tõenäosus $p = 1,363 \cdot 10^{-82}$. Seega juhusliku efektiga mudelit kasutada ei saa. Fikseeritud efektiga mudeli grupisisene determinatsioonikordaja on 0,470, mis seletab sõltuva tunnuse grupisisese erinevuse hajumist regressorite grupisiseste erinevuste abil.

Kui mudel osutub statistiliselt oluliseks, tuleb testida heteroskedastiivsust, mille tulemuse annab Waldi testi, kus võrreldakse objektispetsiifiliste vealiikmete dispersioone (iga riigi jaoks) ühendatud dispersiooniga (pooled error variance). Waldi testi korral tuli nullhüpotees ümber lükata, sest testi olulisustõenäosus oli väiksem kui 0,05. Seega oleme vastu võtnud sisuka hüpoteesi, esineb heteroskedastiivsus. Lisas 7 on Waldi testi olulisuse tõenäosus. Heteroskedastiivsuse esinemine ei ole kunagi olnud põhjuseks hea mudeli edasiseks mitte testimiseks, kuid seda ei tohiks ka ignoreerida (Gujarati 1995, 355). Heteroskedastiivsuse esinemise mõju võib viia valede järeldusteni mudelisse kuuluvate või mittekuuluvate tunnuste osas. Võib eeldada, et vealiikme dispersioon esineb parameetrite hinnangute standardvigade arvutusvalemite. Parameetrite hinnangute standardvead näitavad, kui täpsed on parameetrite hinnangud. Heteroskedastiivsuse testimine fikseeritud efektiga mudeli korral näitab, et heteroskedastiivsus esineb. Seega tuleb fikseeritud efektiga mudeli hindamisel kasutada kohandatud standardvigu, mille tulemusena tunnused jäävad statistiliselt oluliseks. Kohandatud standardvead ei kaota testimisel heteroskedastiivsust, vaid võtavad selle arvesse. Mudeli testimisel kasutatakse Arellano standardvigade hinnangut, mis on kohandatud nii heteroskedastiivsuse kui ka autokorrelatsiooni suhtes, kui ajaperioodide arv on väiksem objektide arvust (Millo 2017, 6). Kuna tegemist on mikro-paneelandmetega, siis mittestatsionaarsus ei mõjuta regressioonmudeli parameetrite asümptootilist jaotust (Phillips 1999).

Fikseeritud efektiga mudeli korral saame välja tuua ka riigid, kus samade seletavate tunnuste väärtuste korral on metaani emissioon kõige suurem või kõige väiksem. Selleks peab vaatama objektispetsiifilisi vabaliikmeid (lisa 8). Nendeks riikideks on Soome ja Iirimaa. Kui kõik seletavad tunnused on samad, siis on metaani emissiooni määr kõige suurem Soomes (39,91) ja kõige väiksem Iirimaal (-52,311).

Mudeli abil leiame millised tunnused mõjutavad metaani emissiooni positiivselt ja millised negatiivselt. Saame anda hinnangu, et näitajad nagu veised, põllumaa ja jäätmed on samasuunalised ja mõjutavad metaani emissiooni positiivselt ning SKP per capita ning teadus- ja arendustegevus mõjutavad metaani emissiooni vastupidise suunaga ehk negatiivselt. Seosed avalduvad järgmiselt:

- 1) kui veiste arvukus 100 000 elaniku kohta on ühe võrra suurem, siis metaani määr samuti suureneb 1,19 kg/el kohta;
- 2) kui põllumaa osakaal riigi pindalast suureneb ühe protsendi võrra, siis metaani määr suureneb 0,29 kg/el kohta;

- 3) kui jäätmete osakaal suureneb elaniku kohta 1kg võrra, siis metaani emissiooni määr suureneb 0,008 kg/el kohta;
- 4) kui SKP *per capita* tõuseb tuhande euro võrra, siis metaani emissiooni määr kahaneb 0,24 kg/el kohta;
- 5) kui riikide panus teadus- ja arendustegevusse (% SKP-st) suureneb ühe protsendi võrra, siis metaani emissiooni määr väheneb 2,5 kg/el kohta.

Kokkuvõtteks leiab autor, et fikseeritud efektiga mudeli hindamistulemusena mõjutavad metaani määra positiivses suunas veiste arvukus, põllumaa ja jäätmete osakaal ning vastupidise negatiivse suunaga mõjutavad metaani määra SKP osakaal ning riikide panus teadus- ja arendustegevusse. Regressioonmudel näitab tunnuste vahelist statistilist seost ning kõik tunnused osutusid mudelis statistiliselt oluliseks.

3.2. Järeldused

Käesolevas töös on autor soovinud põhjendada seoseid kasvava metaani emissiooni määra ja seda mõjutavate tegurite vahel, mida sai hinnatud eelnevas peatükis. Selle põhjal saame analüüsist järeldada:

- riikides, kus veiseid on rohkem, on metaani emissiooni määr suurem;
- riikides, kus põllumaad on rohkem, on metaani emissiooni määr suurem;
- riikides, kus jäätmekäitlusest tekkiva metaani hulk on suurem, on metaani emissiooni määr suurem;
- riikides, kus SKP elaniku kohta on suurem, on metaani emissiooni määr väiksem;
- riikides, kus teadus- ja arendustegevuse protsent SKP-st on suurem, on metaani emissiooni määr väiksem.

Vastavalt järeldustele, on võimalik vastata sissejuhatuses püstitatud uurimisküsimustele. Esimese küsimuse põhjal tuleb anda vastus põllumajanduse ja majanduse mõjust metaani emissioonile. Teisele uurimisküsimusele vastates tuleb välja tuua seoste iseloom ehk see, millised seosed esinevad metaani emissiooni määra ning nii põllumajandust kui ka majandust mõjutavate tegurite vahel. Kuna metaan on kasvuhoonegaas, mille suurenev kontsentratsioon atmosfääris on keskkonnale kahjulik, siis tuleb vaadelda seoseid vastavalt nende keskkonnamõjule.

Tulemustest ilmneb, et metaani emissiooni mõjutab positiivselt veiste arvukus. See tähendab, et kui kasvab veiste arv, siis on see ka keskkonnale kahjulik. Samasugune seos on põllumaa osakaalul riigi pindalast. Kui kasvab põllumaa pindala, siis tõuseb metaani heitemäär. Samuti kahandab maa intensiivsem kasutus selle väärtust, sest pidev maaharimine, karjatamine, väetise kasutus on pikema perioodi jooksul kahjulik, mis omakorda hakkab mõjutama negatiivselt saagikust. Seega on riigil oluline omada kontrolli maakasutuse üle ja seada vajadusel vastavad piirangud. Ka turvasmuldadel paikneva põllumaa üleviimine püsirohumaaks on suure mõjuga kasvuhoonegaaside vähendamisel. Veiste arvukuse piiramisel peaks riik samuti nägema olulist rolli, kuna eksisteerib negatiivne põhjuslik seos nende populatsiooni arvukuse kasvu kahjust keskkonnale, mida ei tohiks poliitika kujundamisel alahinnata. Edasiste uurimuste osas näeb autor võimalust analüüsida inimeste toitumisharjumusi antud probleemi teadvustamiseks ja selle probleemi mitte süvendamiseks.

Järgmise sammuna peaksid valitsused silmitsi seisma jäätmekäitluse küsimusega, sest selle seos on keskkonnale negatiivne ning on seotud suurel määral inimeste käitumisviisi, regulatsioonide ja meetmetega. Nimelt on kasvuhoonegaaside vähendamise tagamiseks jäätmekäitlussektoris kasvatada taaskasutust ja kahandada jäätmete ladestamist. Lisameetmete kasutuselevõtt on olulisel kohal, kasvõi ringmajanduse kontseptsiooni tagamiseks, mis eelistab ringlusse tagasivõtmist põletamisele ja ladestamisele. Sorteerimise olulisust saab lisaks seadustele tagada ka erinevate kampaaniatega, et kasvatada rahva teadlikkust nagu arenenud riikides kohane. Lisaks inimeste enda poolt kaasa aidatud lahendustele, on riigil võimalik panustada metaani kogumisse prügimägedelt ja toota see gaasiks, mis oleks taastuenergia allikaks. Niimoodi antakse panus keskkonna jätkusuutlikkuse tagamiseks. Lisaks sellele on võimalik toota metaani kariloomade jääkproduktist ja põllumaale jäetud rohtsest biomassist, mida hulganisti üle jääb ja omakorda loodust kahjustab, sest kõdunemise protsessil eraldub taas metaan. Taastuenergia tootmise määra suurendamine omakorda tõstab majanduslikku aktiivsust, millega me jõuame järgmise olulise teguri juurde – sisemajanduse koguprodukt. Tulemustest ilmnes, et suurema heaoluga riikides, kus SKP on kõrgem, on emiteeritav metaani hulk väiksem. Samuti riigid, mis panustavad rohkem teadus- ja arendustegevusse, on väiksemad emissiooni tekitajad. Seega on majandusel oluline roll tagamaks keskkonnaalased eesmärgid ja olla avatud arendamiseks tehnoloogiaid, mis aitavad kaasa biometaan tootmisele.

Andmeanalüüsiga sai kinnitatud eelpool mainitud probleemide olulisust. Ilmnes, et põllumajandusliku tegevuse tagajärjel tekkiv metaan on seotud metaani koguemissiooni määraga

atmosfääris ning mõjub keskkonnale vale majandamise tõttu negatiivselt. Metaan atmosfääris on seotud riikide majandustegevusega ning sai tõestatud, et mida rohkem panustatakse majanduskasvu ja soositakse uudseid tehnoloogilisi lahendusi metaani tootmisel, seda paremaks muutub meid ümbritsev keskkond. Andmebaasi saab pidada kvaliteetseks, sest need on võetud usaldusväärsetest allikatest nagu Eurostat ja Maailmapank. Andmeanalüüsi kitsaskohtadeks võiks nimetada balansseerimata andmeid ja heteroskedastiivsuse esinemist, mistõttu on mudeli tulemus robustne. Samuti oli raskendatud andmete leidmine ja mudeli tunnuste kokkupanek, sest ei ole olemas laiaulatuslikke andmeid antud teemal, mis kataks kogu uuritava vajaduse. Edasiseks soovituslikeks oleks analüüsida seoseid ka transpordi- või energiasektoris ning nagu eelpool mainitud saaks suuna võtta ka inimeste toitumisharjumuste süvitsi uurimiseks. Samuti oleks soovituslik kaasata valimisse rohkem riike, mis on ka Maailmapanga andmebaasis esindatud.

KOKKUVÕTE

Kliimamuutustega kohanemine on tänapäeva üks suuremaid väljakutseid. See teema on jätkuvalt kõige aktuaalsem globaalprobleem ja ei ole tõenäoliselt ühtegi inimest, kes ei teaks mõnda põhjust, mis kliimamuutustega kaasneda võib. Probleemid on väga mitmetahulised ja oma olemuselt erinevad. Üheks peamiseks võib nimetada kasvuhoonegaaside kontsentratsiooni kasvu atmosfääris. Antud töös on täpsemalt vaatluse all atmosfääris kasvava kontsentratsiooniga gaasilises olekus aine metaan, mille puhul on tegemist ühe ohtlikuima kasvava trendiga kasvuhoonegaasiga.

Töö eesmärgiks on uurida seoseid metaani emissiooni määra ja tegurite vahel, millest sõltub metaani eraldumine atmosfääris ja mis mõjutavad seeläbi keskkonda ja majandust. Need tegurid on vastavalt tekke põhjustele kas põllumajanduslikud või majanduslikud. Osad tegurid on vaadeldavad kui otsesed põhjused metaani tekkimisel ja mõjutavad seeläbi metaani hulka atmosfääris, mis aitab kaasa kliima soojenemisele. Samuti on vaatluse all tegurid, mis mõjutavad metaani emissiooni läbi majandusliku tegevuse. Vaatluse all on Euroopa Liidu riigid ning tulemuste tõlgendamisel ja lahenduste leidmisel tuleks arvestada riigispetsiifilise metoodikaga. Selle töö eesmärgiks on siiski piirduda üldisema analüüsiga, mis otsib eelkõige tegurite vahelisi põhjuslikke seoseid.

Töö tulemusel leiti, et analüüsis käsitletud andmed on statistiliselt olulised ja põhjuslikud. Metaani emissiooni määra atmosfääris mõjutavad nii põllumajanduslikud kui ka teiste majandusvaldkondadega seotud tegurid. Autori esmane eesmärk oli tõestada hüpoteesi, et veiste populatsiooni arvukuse kasv suurendab metaani hulka atmosfääris ning seeläbi mõjutab keskkonda. Seega on põllumajandus vastutav suure hulga metaani õhku paiskamise eest. Veiste elutegevuseks on vaja suurt osa põllumaad ning seetõttu oli otstarbekas ka see tunnus analüüsi lisada. Töös leidis tõestamist, et põllumaa osakaalu suurenedes kasvab metaani emissiooni hulk atmosfääris. See on seletatav nii kariloomade arvukuse kasvu kui nende elutegevuseks kuluva toidu kasvatamisega, sest põllumaa osakaalu tähtsus metaani heite suurendamisel ei piirdu ainult veistega, vaid on seotud laiema põllumajandusliku tegevusega. Lisaks asjaolule, et

põllumajanduslik tegevus aitab kaasa metaani emissiooni kasvule ja on seetõttu keskkonnale negatiivse efektiga, kahandab maa väärtust ka selle suurem kasutus, sest pidev maaharimine, karjatamine, väetise kasutus jms on pikema perioodi jooksul kahjulik. Majandusega seotud tegevustest toob keskkonnale kahju ka puudulik jäätmekäitluse regulatsioon. Jäätmete ladustamise tulemusena tekkiv metaan paiskub kergesti atmosfääri ning selle ennetamiseks on võimalus võtta kasutusele lisameetmed, mis lähtuvad ringmajanduse kontseptsioonist ja jäätmete ladestamisest vähemal määral. Samuti on võimalik rajada metaani tootmiseks vajalik tehnoloogia otse saasteallika tekkimise juurde. Uute tehnoloogiate kasutuselevõtt soodustaks teadus- ja arendustegevust, mistõttu väheneks metaani emissiooni määr. Samuti hoogustuks majanduslik aktiivsus taastuvenergia sektori intensiivistumise ja transpordisektori efektiivsemaks muutmise korral ning selle tulemusena väheneks saasteallika levik. Ka selle kohta on põhjuslik seos töös välja toodud.

Sissejuhatuses püstitatud uurimisküsimustele otsib autor vastuseid nii töö teoreetilises kui empiirilises osas. Nimelt on autori eesmärgiks tõestada põllumajanduslike ja majanduslike tegurite seoste olemasolu metaani emissiooniga ehk nende tegurite mõju keskkonnale. Töö teoreetilises osas on kirjeldatud probleemi olemust nii majanduslikust kui põllumajanduslikust vaatenurgast lähtuvalt ja osundatud antud teemat puudutavatele varasematele uurimustele, mis kinnitavad probleemi laiaulatuslikkust alates põllumeeste teadmatusest, veiste seotud metaani hulga vähendamise meetodite väljatöötamisest kuni võrdlevate prognoosideni erinevate stsenaariumite puhul, mille eesmärgiks on vähendada kasvuhoonegaase.

Töö empiirilises osas on välja toodud andmete analüüsi statistika, tulemused, hinnangud ja järeldused, mis on töö esimese ehk teoreetilise osa otseseks jätkuks. Sissejuhatuses püstitatud teisele uurimisküsimusele vastamiseks hinnatakse regressioonmudelit, kus sõltuvaks tunnuseks on metaani emissiooni määr ja seletavateks tunnusteks erinevad majanduslikud ja põllumajanduslikud tegurid. Mudeli parameetrite testimisel selgub, et mudelisse lülitatud seletavad tunnused mõjutavad metaani emissiooni määra. Tulemustest ilmneb andmete olulisus ja seosed, mida on arvestatud järelduste tegemisel. Kokkuvõtvalt saab öelda, et metaani määra mõjutavad positiivses suunas veiste arvukus, põllumaa ja tekkinud jäätmete hulk ning vastupidise negatiivse suunaga mõjutavad metaani emissiooni SKP per capita suurus ning riikide panus teadus- ja arendustegevusse, mille määrab protsent SKP-st.

Edasisteks soovitusteks oleks analüüsi kaasata rohkem riike, kasutades näiteks Maailmapanga andmeid ning minna süvitsi teemadega, mis puudutavad veiste populatsiooni arvukuse vähendamise võimalusi inimeste toitumisharjumise kujundamisel. Uurida tuleks ka transpordi- ja energiasektori rolli metaani emissiooni suurenemisel ning meetmeid metaani kontsentratsiooni vähendamiseks atmosfääris.

SUMMARY

IMPACT OF ECONOMIC AND AGRICULTURAL FACTORS ON METHANE EMISSION IN EUROPEAN UNION COUNTRIES

Keili Jaaksoo

Adapting climate change is one of the greatest challenges today and being one of our biggest concerns. Probably every single person knows about the consequences of what may occur. Negative effects of climate change may vary. One of the main reasons is the increase of greenhouse gases. This study concentrates on methane that is odorless colorless gas that is not possible to see or feel compared to other greenhouse gases like carbon dioxide. Although it is one of the most dangerous one.

This paper analyses the reasons that affect the amount of atmospheric methane. Furthermore this study concentrates on the economic and agricultural reasons. Data of 28 European countries have been analyzed. The results differ for each country and that is why the problem should be solved according to country specific method. The aim of this work is to concentrate on general comparison that looks for causal correlation between economic, agricultural factors and methane emission. To estimate this relationship, the author raises following questions:

- 1) is there a relation between economic, agricultural factors and methane emission;
- 2) what kind of relation there is between economic, agricultural factors and methane emission?

Study found that data of statistics is causal and have correlation. Agriculture and economy have an impact on methane emission. At first it is shown that livestock population has an impact on methane emission that affects environment. Therefore agriculture is responsible for the increase of methane emissions. A large part of farmland is needed for the life of livestock. That is why percentage of land use was carried out in this analysis. It was proven that when the proportion of arable land increases, the amount of methane emissions in the atmosphere increases. This is

explained by the increase of livestock population and by the amount of food that is needed to feed them as methane emission does not only depend on the cattle population, but furthermore it is tied to a wide range of agricultural activity. Larger land use reduces its value and continues use of fertilizers and grazing is harmful over a large period of time. Economic activity causes damage to the environment due to inadequate waste management. Methane from waste management is easily released to the atmosphere. To prevent this additional measures should be introduced that prefer recycling and less use of waste. It is also possible to establish the necessary technology for the production of methane directly at the source of the pollution. For example methane can be produced from the landfills and near the farms. The introduction of new technologies would encourage R&D, which would reduce methane emissions. Economic activity would increase when renewable energy sector intensifies and as a result there will be less pollution.

Author has proven that there is a causal relationship between economic, agricultural factors and methane emission that has an impact on environment. The theoretical part of the work describes the nature of the problem from an economic and agricultural perspective. Earlier studies have been observed and described which confirm the scale of the problem. The empirical part concentrates on the data analysis, results and conclusion that is the continuation of the first part.

Further recommendations would be to expand the list of countries in database, for example on the basis of World Bank data. Furthermore it is possible to make research on people's eating habits that have an impact on livestock population or to investigate the role of transport and energy sector in increasing methane emissions.

KASUTATUD ALLIKATE LOETELU

- Adelt, M., Wolf, D., Vogel, A. (2011). LCA of biomethane – *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. No. 3, 646-650.
- Allen, M.R., Shine, K.P., Fuglestedvedt, J.S., Millar, R.J., Frame, D.J., Macey, A. H. (2018). A solution to the misrepresentations of CO₂-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation – *Climate and Atmospheric Science, Vol. 1. art 16*.
- Bates, J. (2001). Economic Evaluation of Emission Reductions of Nitrous Oxides and Methane in Agriculture in the EU - *Economical Evaluation of Sectoral Emission Reduction Objectives for Climate Change*. United Kingdom: AEA Technology Environment and National Technical University of Athens. 2-90.
- Biometaanituru arendamise toetamise toetuse kasutamise tingimused ja kord*. Riigi Teataja. (2017). Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/115092017009> (21. veebruar 2019)
- Biometaani transpordisektoris tarbimise toetamise tingimused*. Riigi Teataja. (2015). Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/112012018003> (21. veebruar 2019)
- Butler, J., Di Leo, J. (2019). Envirocidal. How livestock farming is killing the planet – *Viva! Envirocidal Report*. 2-60.
- Carrington, D. (2018). Avoiding meat and dairy is single biggest way to reduce your impact on Earth - *The Guardian*. 31 May 2018.
- Climate science of methane. Chapter 2. Oxford University. Kättesaadav: <https://www.eci.ox.ac.uk/research/energy/downloads/methaneuk/chapter02.pdf> (21.veebuar 2019)
- Crémière, A., Lepland, A., Chand, S., Sahy, D., Condon, D.J., Noble, S.R., Martma, T., Thorsnes, T., Saure, S., Brunstad, H. (2016) Timescales of methane seepage on the Norwegian margin following collapse of the Scandinavian Ice Sheet – *Nature Communications*, Vol. 7.
- Danielsson, R., Dicksved, J., Sun, L., Gonda, H., Müller, B., Schnürer, A., Bertilsson, J. (2017). Methane Production in Dairy Cows Correlates with Rumen Methanogenic and Bacterial Community Structure – *Frontiers in Microbiology*
- Dlugokencky, E. J., Nisbet, E. G., Fisher, R., Lowry, D. (2011). Global atmospheric methane: budget, changes and dangers – *Philosophical Transactions of The Royal Society*. Vol. 369, 2058-2072.

- Energiamaajanduse arengukava aastani 2030.* (2017). Tallinn: Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. Kättesaadav: https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak_2030.pdf (20.veebruar 2019)
- Euroopa Parlamendi ja nõukogu direktiiv 2009/28EÜ.* Euroopa Liidu Teataja. (05.05.2009). Kättesaadav: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:et:PDF> (20.veebruar 2019)
- Gujarati, D. N. (1995). *Basic Econometrics*. Third Edition. United States of America: MacGraw-Hill.
- Haustein, K., Allen, M.R., Forster, P.M., Otto, F.E.L., Mitchell, D.M., Matthews, H.D., Frame, D.J. (2017). A real-time Global Warming Index – *Scientific Reports*. Vol. 7.
- Hongbo, D., Gupeng, Z., Shouyang, W., Ying, F. (2019). Robust climate change research: a review on multi-model analysis. – *Environmental Research Letters*, Vol. 14, No. 3, 1-23.
- Kliimapoliitika põhialused aastani 2050. Põllumajanduse valdkonna mõjude hindamine.* (2016). Tallinn: Keskkonnaministeerium. Kättesaadav: https://www.envir.ee/sites/default/files/kpp_pillumajanduse_mijude_hindamise_seletus_kiri_18.03.pdf
- Kulutõhusaimate meetmete leidmiseks kliimapoliitika ja jagatud kohustuse määruse eesmärkide saavutamiseks Eestis. Uuring.* (2018). Tallinn: Keskkonnainvesteeringute Keskus. Kättesaadav: https://www.envir.ee/sites/default/files/news-related-files/aruanne_kliimapoliitika_kulutohusus.pdf (23.märts 2019).
- Kyoto Protocol Reference Manual on accounting of emissions and assigned amount. (2008). Kättesaadav: https://unfccc.int/resource/docs/publications/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf (21.veebruar 2019)
- Methane. General information.* (2019). Public Health England. Publication gateway number: 2014790.
- Meyer-Aurich, A., Schattauer, A., Hellebrand, H. J., Klauss, H., Plöchl, M., Berg, W. (2011). Impact of uncertainties on greenhouse gas mitigation potential of biogas production from agricultural resources – *Renewable Energy*. Vol. 37, 277-284.
- Millo, G. (2017). Robust Standard Error Estimators for Panel Models: A Unifying Approach. *Journal of Statistical Software*. Vol. 82, No 3
- Moss, A. R., Jouany, J.-P., Newbold, J. (2000). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Animal Research*. Vol. 49, No. 3, 231-253
- Oja, A. (2013). *Biometaani kasutamise avalikud hüved*. Tallinn-Ääsmäe-Viin: Eesti arengufond.

- Oras, K., Enno-Sakwan, E., Niinepuu, E. (2018). *Säästva arengu näitajad*. Tallinn: Statistikaamet.
- Phillips, P.C., Moon, H.R. (1999). Linear Regression Limit Theory for Nonstationary Panel Data. *Econometrica*. Vol. 67, No. 5, 1057-1111.
- Riigi üldine energiatõhususkohustus aastatel 2021-2030 ning taastuvenergia eesmärkide täitmine. Majandus- ja kommunikatsiooniministeerium. (september 2018). Kättesaadav: https://www.mkm.ee/sites/default/files/180917_energiatohusus_2030_aruanne.pdf (20.veebruar 2019)
- Riik toetab biometaani kasutamist ühistranspordis. (2015). Keskkonnainvesteeringute Keskus. Kättesaadav: <https://kik.ee/et/artikkel/riik-toetab-biometaani-kasutamist-uhistranspordis> (21.veebruar 2019)
- Rootalu, K. (2014). *Sotsiaalse analüüsi meetodite ja metodoloogia andmebaas*. Tartu Ülikool. Kättesaadav: <http://samm.ut.ee/seoste-analysimine> (20.märts 2019).
- Salm, J.O., Soosaar, K., Maddison, M., Tammik, S., Mander, Ü. (2010) Kasvuhoonegaasid ja süsinikukaos Eesti soodest – *Eesti Loodus*. Vol. 9.
- Sauga, A. (2017). Statistika õpik majanduseriala üliõpilastele. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool
- Segers, R. (1998). Methane production and methane contribution: a review of processes underlying wetland methane fluxes – *Biogeochemistry*. Vol. 41, 23-51.
- Storm, I.M.L.D., F. Hellwing, A.L., Nielsen, N.I., Madsen, J. (2012). Methods for Measuring and Estimating Methane Emission from Ruminants – *Animals. Special Issue Climate Change and Livestock management*.
- Themelis, J.N., Ulloa, A.P. (2006). Methane generation in landfills – *Science Direct. Renewable Energy* 32 (2007), 1243-1257.
- Tzemi, D., Breen, J. (2018). Climate change and the agricultural sector in Ireland: examining farmer awareness and willingness to adopt new advisory mitigation tools – *Climate Policy*. DOI: 10.1080/14693062.2018.1546163. Taylor and Francis Group
- Vainu, J. (2006). *Ökonomeetria. Lihtsad mudelid*. Tallinn: Külim.
- Vohu, V. (2015a). *Biometaani tootmine ja kasutamine transpordikütusena – väärtusahel ja rakendusetepanekud*. Eesti Arengufond. Kättesaadav: http://www.arengufond.ee/wp-content/uploads/2015/10/Eesti_Arengufond_Biometaani_tootmine_ja_kasutamine_transpordik%C3%BCtusena_-_v%C3%A4%C3%A4rtusahel_ja_rakendusetepanekud._2015.pdf (20. veebruar 2019)
- Vohu, V. (2015b). *Eesti biometaani ressurside kasutuselevõtu analüüs*. Magistritöö. Eesti Maaülikool.

- Võrk, A. (2003). Staatilised paneelandmete mudelid. Tartu Ülikool.
https://www.researchgate.net/publication/265033234_Staatilised_paneelandmete_mudelid (19.märts 2019).
- Wanapat, M., Cherdthong, A., Phesatcha, K., Kang., S. (2015). Dietary sources and their effects on animal production and environmental sustainability – *Animal Nutrition*. Vol. 1, 96-103.
- Wooldridge, M. J. (2003). *Introductory Econometrics. A Modern Approach*. 2e. Mason: South-Western.

LISAD

Lisa 1. Kütusetüübi järgi kasutusel olevate autode osakaal (%) valitud Euroopa riikide näitel 2015.aastal

	bensiin	diiseli	elekt	hübriid	vedelgaas (LPG)	muu
Holland	78,9	16,5	0,4	2,3	1,9	0,04
Rootsi	63,40	29,60	0,30	0,90	0,90	4,90
Prantsusmaa	34,50	64,20	0,20	0,70	0,10	0,40
Luksemburg	33,70	65,30	0,20	0,70	0,03	0,10
Suurbritannia	61,70	37,20	0,40	0,70	0,00	0,04
Eesti	63,80	35,60	0,20	0,40	0,00	0,10
Soome	74,30	23,60	0,05	0,40	0,02	1,70
Iirimaa	59,30	37,70	0,10	0,40	0,00	2,50
Austria	42,50	56,80	0,10	0,30	0,10	0,20
Saksamaa	66,20	32,30	0,10	0,30	1,20	0,02
Ungari	71,00	27,80	0,01	0,30	0,40	0,40
Läti	48,70	49,80	0,03	0,30	0,10	1,00
Leedu	32,20	64,60	0,02	0,30	0,02	2,90
Portugal	51,80	46,60	0,02	0,30	0,90	0,40
Taani	68,40	30,50	0,30	0,20	0,00	0,60
Kreeka	91,70	4,90	0,00	0,20	0,03	3,10
Hispaania	40,10	59,70	0,02	0,20	0,00	0,00
Belgia	38,50	60,70	0,10	0,10	0,20	0,40
Itaalia	51,80	42,80	0,01	0,10	5,00	0,20
Tšehhi	65,10	34,20	0,02	0,05	0,10	0,50
Rumeenia	61,90	37,40	0,00	0,03	0,03	0,60
Horvaatia	57,20	42,80	0,01	0,02	0,00	0,01
Poola	55,10	29,50	0,00	0,01	14,40	1,10
Slovakkia	92,00	7,90	0,00	0,00	0,10	0,00
Sloveenia	55,00	44,10	0,00	0,00	0,10	0,80

Allikas: Jaaksoo (2019), autori arvutused Odyssee andmebaasi põhjal

Lisa 2. Kariloomade tihedus Euroopa Liidu riikide põhjal 2013.aasta seisuga

Riik	kariloomade tihedus hektari kohta
Austria	0,89
Belgia	2,74
Bulgaaria	0,22
Horvaatia	0,55
Küpros	1,6
Tšehhi	0,5
Taani	1,58
Eesti	0,32
Soome	0,51
Prantsusmaa	0,79
Saksamaa	1,1
Kreeka	0,44
Hungari	0,49
Iirmaa	1,2
Itaalia	0,77
Läti	0,26
Leedu	0,29
Luksemburg	1,26
Malta	3,21
Holland	3,57
Poola	0,64
Portugal	0,56
Rumeenia	0,38
Slovakkia	0,34
Sloveenia	1,0
Hispaania	0,62
Rootsi	0,56
Suurbritannia	0,76
Riikide keskmine	0,97

Allikas: autori arvutused Eurostati andmete põhjal

Lisa 3. Ühendatud vähimruutude mudel

Model 1: Pooled OLS, using 277 observations
 Included 28 cross-sectional units
 Time-series length: minimum 7, maximum 10
 Dependent variable: Metaan

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	32.3067	2.26726	14.2492	<0.0001	***
Veised	0.635991	0.0235101	27.0519	<0.0001	***
Pollumaa	0.110077	0.036996	2.9754	0.0032	***
Jaatmed	-0.00238525	0.00445968	-0.5348	0.5932	
SKP	-0.17866	0.0399971	-4.4668	<0.0001	***
TA	-2.17787	0.785405	-2.7729	0.0059	***
Mean dependent var	42.24260	S.D. dependent var	17.05078		
Sum squared resid	18163.02	S.E. of regression	8.186709		
R-squared	0.773645	Adjusted R-squared	0.769469		
F(5, 271)	185.2467	P-value(F)	3.08e-85		
Log-likelihood	-972.4088	Akaike criterion	1956.818		
Schwarz criterion	1978.562	Hannan-Quinn	1965.542		
rho	0.975528	Durbin-Watson	0.020740		

White's test for heteroskedasticity -

Null hypothesis: heteroskedasticity not present

Test statistic: LM = 155.253

with p-value = $P(\text{Chi-square}(20) > 155.253) = 6.17071e-23$

Allikas: autori koostatud Gretlis

Lisa 4. Hausmani test

Hausman test statistic:

$H = 22.5232$ with p-value = $\text{prob}(\text{chi-square}(5) > 22.5232) = 0.000416289$

(A low p-value counts against the null hypothesis that the random effects model is consistent, in favor of the fixed effects model.)

Allikas: autori koostatud Gretlis

Lisa 5. Fikseeritud efektiga mudel

Model 2: Fixed-effects, using 277 observations
 Included 28 cross-sectional units
 Time-series length: minimum 7, maximum 10
 Dependent variable: Metaan
 Robust (HAC) standard errors

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t-ratio</i>	<i>p-value</i>	
const	14.7567	6.64116	2.2220	0.0349	**
Veised	1.18882	0.16669	7.1319	<0.0001	***
Pollumaa	0.286751	0.0923094	3.1064	0.0044	***
Jaatmed	0.00759158	0.00244652	3.1030	0.0045	***
SKP	-0.241602	0.099453	-2.4293	0.0221	**
TA	-2.50135	1.21284	-2.0624	0.0489	**
Mean dependent var	42.24260	S.D. dependent var	17.05078		
Sum squared resid	812.5158	S.E. of regression	1.824824		
LSDV R-squared	0.989874	Within R-squared	0.469996		
Log-likelihood	-542.0883	Akaike criterion	1150.177		
Schwarz criterion	1269.769	Hannan-Quinn	1198.162		
rho	0.616932	Durbin-Watson	0.528727		

Joint test on named regressors -
 Test statistic: $F(5, 27) = 19.5891$
 with p-value = $P(F(5, 27) > 19.5891) = 3.16799e-08$

Robust test for differing group intercepts -
 Null hypothesis: The groups have a common intercept
 Test statistic: Welch $F(27, 88.4) = 432.864$
 with p-value = $P(F(27, 88.4) > 432.864) = 1.36339e-82$

Allikas: autori koostatud Gretlis

Lisa 6. Juhusliku efektiga mudel

Model 3: Random-effects (GLS), using 277 observations

Included 28 cross-sectional units

Time-series length: minimum 7, maximum 10

Dependent variable: Metaan

	<i>Coefficient</i>	<i>Std. Error</i>	<i>z</i>	<i>p-value</i>	
const	26.0592	3.54466	7.3517	<0.0001	***
Veised	0.823694	0.0603571	13.6470	<0.0001	***
Pollumaa	0.207339	0.0575984	3.5997	0.0003	***
Jaatmed	0.0081565	0.00341158	2.3908	0.0168	**
SKP	-0.244279	0.0426851	-5.7228	<0.0001	***
TA	-2.70117	0.61698	-4.3780	<0.0001	***

Mean dependent var	42.24260		S.D. dependent var	17.05078
Sum squared resid	24363.34		S.E. of regression	9.464202
Log-likelihood	-1013.085		Akaike criterion	2038.170
Schwarz criterion	2059.914		Hannan-Quinn	2046.895

'Between' variance = 78.313

'Within' variance = 3.32998

mean theta = 0.934479

Joint test on named regressors -

Asymptotic test statistic: Chi-square(5) = 257.585

with p-value = 1.29536e-53

Breusch-Pagan test -

Null hypothesis: Variance of the unit-specific error = 0

Asymptotic test statistic: Chi-square(1) = 1099.32

with p-value = 4.63449e-241

Hausman test -

Null hypothesis: GLS estimates are consistent

Asymptotic test statistic: Chi-square(5) = 22.5232

with p-value = 0.000416289

Lisa 7. Waldi test fikseeritud efektiga mudelil

Distribution free Wald test for heteroskedasticity:
Chi-square(28) = 19752.3, with p-value = 0

Pooled error variance = 2.93327

unit	variance
1	0.100594 (T = 10)
2	0.0982934 (T = 10)
3	0.803840 (T = 10)
4	0.891892 (T = 10)
5	0.852432 (T = 10)
6	0.762457 (T = 10)
7	1.10432 (T = 10)
8	3.80411 (T = 10)
9	7.88806 (T = 10)
10	0.453596 (T = 10)
11	0.161796 (T = 10)
12	0.804209 (T = 10)
13	1.67172 (T = 10)
14	9.56383 (T = 10)
15	0.655918 (T = 7)
16	1.12881 (T = 10)
17	0.655123 (T = 10)
18	0.480967 (T = 10)
19	4.32591 (T = 10)
20	2.73142 (T = 10)
21	0.389894 (T = 10)
22	1.97078 (T = 10)
23	1.63876 (T = 10)
24	0.604091 (T = 10)
25	5.31034 (T = 10)
26	1.01210 (T = 10)
27	0.765380 (T = 10)
28	30.8177 (T = 10)

Allikas: autori koostatud Gretlis

Lisa 8. Objektispetsiifilised vabaliikmed

Riik	väärtus
Austria	11,99779
Belgia	4,93422
Bulgaaria	22,0344
Horvaatia	21,33596
Küpros	29,50863
Tšehhi	32,35111
Taani	18,33925
Eesti	12,00552
Soome	39,91427
Prantsusmaa	0,1067
Saksamaa	11,66268
Kreeka	21,73091
Ungari	9,72281
Iirimaa	-52,31190
Itaalia	14,30465
Läti	16,94474
Leedu	9,28695
Luksemburg	10,86319
Malta	6,02723
Holland	15,04688
Poola	22,37517
Portugal	22,99016
Rumeenia	33,34285
Slovakkia	16,66479
Sloveenia	17,05107
Hispaania	10,36826
Rootsi	22,03099
Suurbritannia	12,42389

Allikas: autori koostatud