

**Rapsi, nisu, rukki, odra ja tritikale viljeluse keskmiste
kasvuhoonegaaside heitkoguste arvutamise meetoodika
väljatöötamine ja rakendamine Eestis**

2015

Tartu

Töö on valminud Eesti Vabariigi Keskkonnaministeeriumi tellimusel.

Aruande koostasid: Alar Astover, Merrit Shanskiy ja Enn Lauringson. Eesti Maaülikool, põllumajandus- ja keskkonnainstituut.



Sisukord

1. Sissejuhatus.....	4
2. Metoodika.....	5
3. Lähteandmed.....	10
3.1. Põllukultuuride kasvupind ja saagikus	10
3.2. Seeme.....	11
3.3. Väetiste kasutus.....	12
3.4. Taimekaitsevahendid	14
3.5. Masintööd, mullaharimisviisid ja kütusekulu.....	15
4. Tulemused.....	18
4.1. N ₂ O otsene ja kaudne emissioon.....	18
4.2. Raps biodiisliks	22
4.3. Suvinisu etanooliks.....	24
4.4. Talinisu etanooliks	26
4.5. Rukis etanooliks.....	28
4.6. Tritikale etanooliks.....	30
4.7. Oder etanooliks	32
4.8. Kasvuhoonegaaside emissioon teravilja- ja rapsisaagi kohta.....	34
Kokkuvõte	35
Kasutatud kirjandus.....	36

1. Sissejuhatus

2008. a. võeti vastu Euroopa Parlamendi ja Nõukogu poolt taastuvenergia direktiiv (2009/28/EC), mis peaks aitama kaasa EL suutlikkusele saavutada oma kliimaeesmärgid aastaks 2020 - vähendada kasvuhoonegaase 20%, tõsta energiatõhusust 20% ja tagada, et 20% energiavajadusest kaetaks taastuvate energiaallikatega.

Käesoleva direktiiviga kehtestatakse üldine raamistik taastuvatest energiaallikatest toodetava energia kasutamise edendamiseks. Sellega seatakse kohustuslikud riiklikud eesmärgid seoses taastuvatest energiaallikatest toodetud energia osakaaluga summaarses energia lõpptarbimises ja transpordisektoris. Selles sätestatakse eeskirjad liikmesriikide vaheliste statistiliste ülekannete, liikmesriikide ja kolmandate riikide vaheliste ühisprojektide, päritolutagatiste, haldusmenetluste, teabe ja koolituse kohta ning taastuvatest energiaallikatest toodetud energia juurdepääsu kohta elektri jaotusvõrgule. Sellega kehtestatakse biokütuste ja vedelate biokütuste säästlikkuse kriteeriumid.

Liikmesriigid pidid esitama komisjonile hiljemalt 31. märtsiks 2010 aruande, mis annab ülevaate põllumajandusliku tooraine viljelusest tekkivate tüüpiliste kasvuhoonegaaside heitkoguste kohta, lisades aruandele meetodi kirjelduse ja kõnealuse loetelu koostamiseks kasutatud andmed. Nimetatud meetodi puhul võetakse arvesse mulla omadusi, kliimat ning eeldatavat tooraine saagist.

Antud töö valmis Keskkonnaministeeriumi tellimusel, et leida erinevate põllumajanduskultuuride viljelemisel tekkivate kasvuhoonegaaside keskmised väärtused Eestis. Töösse võeti järgmised kultuurid: raps, rukis, nisu, oder ja tritikale ning arvatati nende viljelemisel tekkivate KHG heitmete keskmised väärtused Eesti maakondade kaupa. Metoodika osas võeti aluseks KKM määruse nr 45 "Vedelkütuste kohta esitatavad keskkonnanõuded, biokütuste säästlikkuse kriteeriumid, vedelkütuste keskkonnanõuetele vastavuse seire ja aruandmise kord ning biokütuste ja vedelate biokütuste kasutamisest tuleneva kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemise määramise metoodika" ja vastava direktiivi (2009/28/EC), Lisa 5.

2. Metoodika

Antud töös käsitletakse Eesti tingimustele vastava metoodika väljatöötamist, mille aluseks on võetud direktiivis 2009/28/ EÜ kirjeldatud kasvuhoonegaaside emissioonide arvutamise juhised. Metoodika annab aluse rapsi, nisu, rukkise, odra ja tritikale viljeluse keskmiste kasvuhoonegaaside heitkoguste arvutamiseks Eesti tingimuste jaoks. Eesti Maaülikooli töögrupi ülesanne oli välja arvutada eelnimetatud kultuuride viljelusel tekkinud heitkogus (e_{ec}) sellistel alustel, mida saab kasutada maakonna põhiselt.

Direktiiv ise sisaldab vähe metoodilist informatsiooni heitmete arvutamiseks, mis tekivad erinevate põllukultuuride viljelemisel biokütuste saamise eesmärgil. Direktiivi 2009/28/ EÜ artiklis 19, Lisa V, Peatükk C, alapunkt 6, sätestab järgmist seoses arvutus metoodikaga:

‘Tooraine kaevandamisel või viljelusel tekkinud heide (e_{ec}) sisaldab heidet, mis on tekkinud kaevandamise või viljelemise protsessi käigus, tooraine kogumisel, jäätmetest ja leketest ning kaevandamisel või viljelemisel kasutatud toodete või kemikaalide tootmisel. CO₂ kogumist toormaterjali kasvatamise ajal ei võeta arvesse. Kõikjal maailmas õlitootmispaikades õli põletamisest tekkinud kasvuhoonegaaside heitkoguste sertifitseeritud vähenemine arvatakse maha. Viljelusest tuleneva heite prognoositava koguse võib tegelike andmete kasutamise alternatiivina tuletada sellistest keskmistest näitajatest, mida kasutati vaikeväärtuste arvutamiseks kasutatud geograafilistest aladest väiksemate alade puhul.’

Direktiiv on selge metoodikate valiku osas; kaastooted tuleb jaotada ja jagada proportsionaalselt madalama kütteväärtusega toodetega. Põllumajanduskultuuride saagi jäätmed ei oma eeldatavasti mingit väärtust ja ei ole koormatud mitte ühegi heitega kasvatamisel (Artikkel 19, Lisa V, Peatükk C, alapunkt 17, 18).

‘Kui kütuse tootmise protsessi käigus toodetakse kombineerituna kütust, mille heitkogused arvutatakse välja, ning veel üht või mitut toodet lisaks („kaassaadused”), jagatakse kasvuhoonegaaside heitkogused kütuse või selle vahetoote ja kaassaaduste vahel proportsionaalselt nende energiasisaldusega (mis määratakse kindlaks väiksema kütteväärtusega muude kaassaaduste puhul kui elekter).’

‘Jäätmete, põllumajanduskultuuride jääkide, sealhulgas õlgede, suhkruroo pressimisjäätmete, terakestade, maisitõlvikute ja pähkliskoorte ning töötlemisjääkide, sealhulgas toorglütseriini (rafineerimata glütseriin) olelustsükli kasvuhoonegaaside heitkogused võrduvad nulliga kuni kõnealuste materjalide kogumise protsessini.’

Lähtuvalt direktiivist tuleb arvutused teostada vähemalt NUT II või sellest väiksema piirkondliku jaotuse alusel. NUT II alusel jaotub Eesti kolme regiooni, ent kuna valdav osa regionaalsest statistikast on esindatud sellest detailsemal maakonna tasandil, siis käesolevas aruandes on arvutused teostatud maakondade kaupa.

Arvutused hõlmavad viit Eestis kasvatatavat põllumajanduslikku kultuuri, milleks on raps, oder, rukis, nisu ja tritikale. Nisu puhul on arvutused tehtud eraldi nii suvi- kui ka talinisule. Põllukultuuride kasv sõltub suurel määral kasvuaasta ilmastikust ja ühe aasta andmed ei pruugi adekvaatselt kajastada saagitaset. Seetõttu on tulemused leitud kolme aasta (2011-2013) keskmisena. Lähteandmed kasvupindade, saagi, väetiste ja pestitsiidide kasutuse jms kohta pärinevad peamiselt Eesti Statistikaametist (tabel 1). Numbrilised sisendid on saadud kas Eesti Statistikaameti andmebaasidest või on leitud arvutuslikult tuginedes teaduskirjanduse ülevaatele ja eksperthinnangutele. Väetiste ja pestitsiidide kasutusnormid on leitud keskmisena kogu konkreetse kultuuri kasvupinna kohta.

Tabel 1. Lähteandmete allikad

Andmete tüüp	Allikas
Põllukultuuride kasvupind 2011–2013. a. keskmisena (hektarites)	Eesti Statistikamet
Põllukultuuride kogusaak 2011–2013. a. keskmisena (t), teraviljad niiskusesisaldusega 14% ja raps 9%	Eesti Statistikamet
Põllukultuuride saagikus 2011–2013. a. keskmisena (t/ha)	Eesti Statistikamet, arvutuslik tulem kogusaagi ja kasvupinna jagatisena
Seemne külvinorm 2011. a. (kg/ha)	Teraviljad - Eesti Statistikamet, arvatud 2011. andmete alusel; raps – eksperthinnang
Mineraalväetise kasutamine 2011–2013. a. keskmisena (N, P ja K, kg/ha)	Eesti Statistikamet; arvatud väetiskasutuse ja kogu vastava kultuuri kasvupinna jagatisena; raps võrdsustatud statistika jaotusega tehnilised kultuurid; teraviljade vahel diferentseerimine eksperthinnanguna
Lubiväetise kasutamine 2011–2013. a. keskmisena (kg/ha)	Eesti Statistikamet; arvatud kogu lubiväetise kasutuse ja kogu haritava maa jagatisena. Ainult riigi keskmine näitaja.
Pestitsiidide kasutamine, 2011–2013. a. keskmisena (kg/ha)	Eesti Statistikamet; arvatud pestitsiidide kasutuse ja kogu vastava kultuuri kasvupinna jagatisena; raps võrdsustatud statistika jaotusega tehnilised kultuurid; teraviljade vahel diferentseerimine eksperthinnanguna
Maaharimisviisid	Eesti Statistikamet, 2010. aasta põllumajandusloenduse andmetel
Loomühikute arv	Eesti Statistikamet, 2010. aasta põllumajandusloenduse andmetel.
Tööoperatsioonide arv ja kütusekulu sõltuvalt kultuurist ja maaharimisviisist	Kirjandusallikate ja eksperthinnangute süntees

Vastavalt direktiivile 2009/28/ EÜ arvutatakse transpordikütuste, biokütuste ja vedelate biokütuste tootmisest ja kasutamisest tulenev kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemine järgmiselt:

$$E = e_{ec} + e_l + e_p + e_{td} + e_u - e_{sca} - e_{ccs} - e_{ccr} - e_{ee}$$

kusjuures:

E = kütuse kasutamisest tulenev koguheide;

e_{ec} = tooraine kaevandamisel või viljelusel tekkinud heitkogus;

e_i = maakasutuse muudatusest tingitud süsinikuvaru muudatustest tulenev aastapõhine heitkogus; e_p = töötlemisel tekkinud heitkogus;

e_{td} = jaotamise ja transpordi käigus tekkinud heitkogus;

e_u = kasutatavast kütusest tulenev heitkogus;

e_{sca} = põllumajanduse parema juhtimise abil süsiniku mulda kogunemisest tulenev heitkoguste vähenemine;

e_{ccs} = süsiniku kogumisest ja geoloogilisest säilitamisest tulenev heitkoguste vähenemine;

e_{ccr} = süsiniku kogumisest ja asendamisest tulenev heitkoguste vähenemine

e_{ee} = koostootmisel tekkinud elektri ülejäägi kasutamisest tulenev heitkoguste vähenemine.

Antud töö põhiülesanne oli välja arvutada e_{ec} ehk eelnimetatud kultuuride viljelusel tekkinud heitkogus. Masinate ja seadmete tootmisel tekkinud heitkoguseid arvesse ei võeta.

Valemi kohaldamisel arvesse võetavad kasvuhoonegaasid on CO₂, N₂O and CH₄. CO₂-ga ekvivalentsuse arvutamiseks määratakse kõnealustele gaasidele järgmised väärtused:

CO₂: 1

N₂O: 296

CH₄: 23

Lämmastiku emissiooni arvutamiseks mineraal muldadelt kasutati BioGrace kasvuhoonegaaside kalkulaatori versiooni 4d (BioGrace 2015). See kalkulaator on arvestab EL taastuvenergia direktiivi (2009/28/EC, RED) ja kütuste kvaliteedi direktiivi (2009/30/EC) jätkusuutlikkuse eesmärgi. BioGrace kalkulaator on kooskõlas RED direktiivi artikliga 18 (4-6) ning 17 (2) ja lisaga V. Arvutusteks kasutati IPCC juhendit kasvuhoonegaaside inventuuriks Tier 1 tasemel (*IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Chapter 11 (2006)*).

Arvesse võeti analüüsitud kultuuride viljelemisest tulenevad otsesed ja kaudsed N₂O emissioonid. Otseste heitmeallikatena arvestati mineraalväetised, sõnnik (50% sõnniku N sisendist) ja taimejäänused. Otseste allikate puhul kasutati emissioonifaktorit 1%. Taimejäänuste lämmastik arvutati põhisaagi alusel kasutades IPCC (2006) juhendi tabel 11.2 koefitsiente. Kaudsed N₂O heitmed leiti lendunud NH₃ kohta emissioonifaktoriga 1% ja leostunud lämmastiku kohta emissioonifaktoriga 0,75%.

N₂O emissioonid haitavatest turvasmuldadest otsustati arvutustest välja jätta. Digiteeritud mullastikukaart mõõtkavas 1:10000 pakub ruumiliselt kõige täpsemat infot turvasmuldade

levikust. Põllumajandusuuringute Keskuse uuringu (PMK 2012) alusel on käesoleval ajal umbes 30 tuhat ha turvasmuldi põllumajanduslikus kasutuses. 2011. aastal hindas PMK 31 testalal turvasmuldade maakasutust, millest selgus et neist 19 ala olid kasutusel püsirohumaadena (PMK 2012). Olemasoleva mullastikukaardi välitööd teostati peamiselt perioodil 1960-1980. Intensiivse kuivenduse ja harimise tulemusena on turvas paljudes kohtades mineraliseerunud ja turvasmullad degradeerunud mineraalmullaks. PMK pilootuuringu (2012) alusel tuleks mullastikukaardil umbes 1/3 põllumajandusliku kasutuse olevatest ümber klassifitseerida mineraalmuldadeks. Käesoleva aruande tarvis teostas PMK spetsiaalse päringu digiteeritud mullastikukaardilt ja 2015. aasta põllukultuuride (raps, nisu, oder, rukis, tritikale) kasvupinna alusel. Selle alusel on riigi keskmisena nende kultuuride kogu kasvupinnast 2,5% turvasmuldadel. Peamised argumendid turvasmullad emissioonide arvutustest välja jätta olid turvasmuldade väike osakaal ning suur määramatus, et kui suur osa neist aladest tegelikult bioenergia kultuuride viljelemisel kasutust leiab.

Arvestati, et teraviljade kasvatamisel keskmiselt 20% põhust eemaldatakse põllult ja rapsil puhul põhku ei eemaldata. Teravilja põhisaagi terade kuivainesisalduseks võeti 86% ja rapsil 91%. Pidasime vajalikuks korrigeerida sõnnikuga antavat lämmastiku kogust. Kasutasime emissiooni arvutamisel sisendina 50% sõnniku N kogusest (Edwards et al. 2013; Köble, 2014). Sõnnikust pärineva lämmastiku sisendi hindamine ja selle ruumilise jaotuse arvestamine toimus Edwards et al (2013; *Assessing GHG default emissions from biofuels in EU legislation*) meetodikast lähtuvalt. Peamised põhjused ainult 50% sõnniku lämmastiku arvestamiseks olid samad kui Edwards et al (2013) uuringus: määramatus sisendandmetes ja määramatus maakonna taseme sõnniku kasutuse jaotumisel kultuuri ja põllu tasemele. Meil puuduvad andmed sunniku kasutusest konkreetsete kultuuride kaupa. N₂O emissiooni arvutamiseks leiti igale maakonnale sõnnikust pärinev keskmine lämmastiku sisend lähtuvalt loomühikute koormusest põllumajandusmaa hektari kohta arvestusega, et üks loomühik võrdub 100 kg N (Daalgaard et al. 2012).

Arvutustes kasutati riigi keskmist lubiväetise kasutamise andmeid ja rakendati emissioonifaktorit 0,12 CO₂-C/kg. Statistilised andmed lupjamise mahtudest maakonniti puuduvad. Lubiväetiste kasutamisest tuleneva emissiooni jaotamine kultuuride ja põldude ning isegi maakondade kaupa on seotud väga suure määramatusega. Kuna lupjamisega paranevad paljudel muldadel taimede toitumistingimused ja sh väetiste efektiivsus, siis sellega võib kaasneda N₂O emissiooni kahanemine, mis tasandab lubiväetisest eralduvat CO₂ heidet.

Kuivatamise kaasnevad kasvuhoonegaaside heitmed võivad aastati erineda väga suurtes piirides. Põhjamaistes tingimustes võib sõltuvalt algniiskusest terasaagi ühe tonni kuivatamisele kuluda 5–35 l kütteõli (Ahokas 2012). Teiste riikide tulemustega võrreldavuse huvides välistasime siiski kuivatamisega seonduva emissiooni arvutustest. Samasugust lähenemist on rakendanud ka Soome ja Rootsi. Eksperthinnangutele tuginedes arvestasime, et kõigis maakondades on koristusaegne niiskusesisaldus teravilja saagis 19% ja rapsi saagis

13%. Energiakulu arvestasime 5,4 MJ/kg aurustunud vee kohta (Ahokas 2012). Kütteõli emissioonifaktoriks võeti 0,09 kg CO₂-eq/MJ.

Põllkultuuride saagi konverteerimisel energiaks rakendasime BioGrace arvutusreegleid ja koefitsiente. Rapsiseemnete energiaväärtuseks (väikseim kütteväärtus) arvestati 26,4 MJ kg kuivaine kohta ja et 1 MJ rapsiseemnete tööstuslikul muundamisel saadakse 0,5784 MJ biodiisli (FAME – fatty acid methyl ester). Rapsiseemnest toodetud FAME biodiislisse talletub 58,6% energiast. Allokatsioonifaktor rapsiseemnest rapsiõli ekstraheerimisel on 61,3%, ülejäänud energia jääb rapsikoogi koostisse. Õli esterfitseerimisel talletub 95,7% energiast biodiislis ja ülejäänud jääb glütseriini koostisse.

Teraviljade puhul rakendati käesolevas arvutustes sõltumata liigist nisu etanooliks muundamise väärtusi: nisutrade alumine kütteväärtus 17 MJ kg kuivaine kohta, 0,537 MJ etanooli saadakse 1 MJ nisust. Nisu tööstuslikul muundamisel talletub 59,5% energiast etanoolis.

3. Lähteandmed

3.1. Põllukultuuride kasvupind ja saagikus

Teraviljade ja rapsi kasvupind erineb maakonniti väga suurtes piirides (tabel 2). Mõnes maakonnas (nt Hiiumaa) on talinisu ja tritikale kasvupind olnud kolme aasta keskmisena alla 100 hektari. Suurima kasvupinnaga on teravili on Eestis nisu, mida kasvatatakse mõnevõrra rohkem suvi- kui taliviljana. Odra kasvupind küündib üle saja tuhande hektari, peamiselt kasvatatakse Eestis otra söödaviljaks. Tritikale kasvatus on vähelevinud. Teraviljadest on suurim saagikus kolme aasta keskmisena olnud talinisul (tabel 3). Maakonniti erinevad saagikused kõigi kultuuride osas suurel määral. Suurima produktiivsusega teraviljakasvatus on Kesk-Eesti maakondades. Talinisu saak on analüüsitud aastatel Hiiu maakonnas praktiliselt ikaldunud. Saagikuse tase avaldab väga suurt mõju potentsiaalse energiatoodangu kohta arvutatud kasvuhoonegaaside heitmetele. Tulemused võiks mõnevõrra ühtlustuda kui analüüsi kaasata veelgi pikem ajaperiood, ent siis ei pruugi see enam kajastada hetkeolukorda tootmises.

Tabel 2. Põllukultuuride kasvupind 2011–2013. aasta keskmisena (hektarites). Lähteandmed: Eesti Statistikaamet

Maakond	Rukis	Talinisu	Tritikale	Suvinisu	Oder	Raps
Harju	606	2202	612	3584	7321	4907
Hiiu	117	81	45	337	449	272
Ida-Viru	856	1095	64	2301	3845	3013
Jõgeva	740	6431	325	8219	11695	9052
Järva	1044	4699	44	6114	14901	7688
Lääne	338	1645	129	3309	4046	3491
Lääne-Viru	2162	9079	225	9349	18864	13453
Põlva	750	2955	97	4199	6741	4889
Pärnu	759	2620	383	6091	7682	5177
Rapla	638	2204	373	4081	7219	5304
Saare	318	648	643	1669	2591	1668
Tartu	2699	9566	545	7351	12839	11463
Valga	504	2128	288	3255	3686	3580
Viljandi	1987	5876	553	9134	13383	10010
Võru	382	2494	109	2908	4574	3461
Kokku	13900	53723	4436	71901	119838	87427

Tabel 3. Põllukultuuride saagikus 2011–2013. aasta keskmisena (t/ha). Leitud kogusaagi ja kasvupinna jagatisena. Lähteandmed: Eesti Statistikaamet

Maakond	Rukis	Talinisu	Tritikale	Suvinisu	Oder	Raps
Harju	2,287	3,562	3,851	2,858	2,916	1,667
Hiiu	2,493	0,646	1,948	1,559	1,835	1,504
Ida-Viru	2,248	3,873	5,292	3,027	3,092	1,999
Jõgeva	3,789	3,985	3,642	3,465	3,151	2,082
Järva	3,399	3,709	3,786	3,175	2,913	1,692
Lääne	2,471	3,142	2,879	2,379	2,255	1,420
Lääne-Viru	2,608	3,768	2,982	3,231	3,123	1,971
Põlva	2,020	3,394	4,134	3,041	3,139	1,808
Pärnu	2,674	2,715	3,031	2,722	2,338	1,461
Rapla	2,697	3,473	4,268	2,506	2,601	1,714
Saare	2,091	2,939	1,975	2,246	2,450	1,549
Tartu	2,504	4,228	4,486	3,472	3,351	2,018
Valga	2,259	3,345	4,416	2,927	3,084	1,669
Viljandi	2,844	3,620	3,611	3,185	3,206	1,783
Võru	1,975	3,040	3,945	2,873	3,151	1,649
Keskmine	2,638	3,680	3,550	3,053	2,990	1,815

3.2. Seeme

Teraviljade seemne külvisenormid leiti 2011. aasta kohta avaldatud statistika ameti andmete alusel (tabel 4). põllumajandustootjatega ja ekspertidega konsulteerimise tulemusena arvestasime rapsiseemne külvisenormiks 4 kg/ha. Arvesse võeti järgmised emissioonifaktorid: raps 0,73 kg CO₂-ekv/kg (BioGrace 2015), rukis 0,38 kg CO₂-ekv/kg (Ecoinvent 2.2 2010), nisu 0,28 kg CO₂-ekv/kg (BioGrace 2015), teiste teraviljade puhul kasutati nisu väärtust.

Tabel 4. Seemne külvisenorm, arvatud statistikaameti 2011. a. andmete alusel

Kultuur	Seemne külvisenorm, kg/ha
Tali- ja suvinisu	235
Rukis	182
Tritikale	228
Oder	208

3.3. Väetiste kasutus

Mineraalväetiste keskmised kasutusnormid maakonniti leiti statistikaameti lähteandmete alusel kolme aasta keskmisena. Teraviljadele on statistika andmebaasis antud väetiskasutuse koondtulemused. Väetisnormi eristamiseks teraviljade liigiti rakendasime keskmisele järgmiseid koefitsiente: oder 1,0, nisu 1,2 ning rukis ja tritikale 0,75. Need suhtelised koefitsiendid lähtuvad enamlevinud väetisnormide soovitustest ning on kooskõlas varasemate andmetega väetiste kultuuriti kasutamisest Eestis.

Rapsi väetatakse intensiivsemalt kui teravilju (tabel 5 ja 6). Suured erinevused ilmnevad maakonniti, väiksemaid väetisnorme kasutatakse Hiiumaal ja suurimaid Jõgeva maakonnas.

Mineraalväetiste tootmisega kaasneva emissiooni arutamiseks kasutasime järgmisi faktoreid: 2,9 kg CO₂/kg N (Erlingson 2009 viidatud Ahlgren et al 2011 järgi); 0,71 kg CO₂/kg P ja 0,46 kg CO₂/kg K (LowCVP 2004).

Lubiväetisi kasutati aastate 2011-2013 keskmisena 28030 t (Eesti Statistikaamet). Riigi keskmine lubiväetise kogu haritavale maale on 45 kg/ha. Andmed lubiväetiste kasutamise regionaalsete erinevuste kohta puuduvad, seetõttu kasutati ühtset normi kõigi maakondade arvutuste juures. Emissioonifaktoriks võeti 0,12 kg CO₂-ekv/kg.

Tabel 5. Mineraalväetiste keskmine kasutus rapsile 2011–2013. aastal (kg/ha). Lähteandmed: Eesti Statistikaamet

Maakond	N	P	K
Harju	85	6	17
Hiiu	74	8	27
Ida-Viru	90	9	21
Jõgeva	96	10	28
Järva	92	9	31
Lääne	84	8	21
Lääne-Viru	98	9	28
Põlva	98	9	32
Pärnu	69	7	21
Rapla	88	6	19
Saare	78	7	21
Tartu	100	8	29
Valga	117	8	28
Viljandi	98	12	31
Võru	92	11	34
Keskmine	94	9	27

Tabel 6. Mineraalväetiste keskmine kasutus nisule, odrale, rukkile ja tritikalele 2011–2013. aastal (kg/ha). Lähteandmed: Eesti Statistikaamet

Maakond	Suvi- ja talinisu			Oder			Rukis ja tritikale		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Harju	75	4	10	63	3	8	47	2	6
Hiiu	33	5	9	27	4	7	21	3	6
Ida-Viru	74	6	17	61	5	14	46	4	10
Jõgeva	87	10	27	72	8	23	54	6	17
Järva	81	6	20	68	5	16	51	4	12
Lääne	65	5	11	54	4	10	41	3	7
Lääne-Viru	81	7	20	67	6	16	50	4	12
Põlva	65	7	19	54	6	16	41	4	12
Pärnu	59	8	20	49	7	16	37	5	12
Rapla	56	5	12	47	4	10	35	3	8
Saare	41	3	7	34	2	6	26	2	5
Tartu	85	7	21	71	6	18	53	4	13
Valga	72	8	24	60	7	20	45	5	15
Viljandi	76	8	21	64	7	18	48	5	13
Võru	65	7	17	54	6	15	40	4	11
Keskmine	74	7	19	62	6	16	46	4	12

Loomühikute arvust 2010. aasta põllumajandusloenduse andmete (Eesti Statistikaamet) alusel arvatati keskmine sõnnikust pärineva lämmastiku koormus (tabel 7). Arvestasime, et üks loomühik vastab keskmiselt 100 kg sõnniku lämmastikule (Daalgard et al 2012).

Tabel 7. Keskmine loomakasvatuse koormus (LÜ/ha - loomühikuid põllumajandusmaa ha kohta) 2010. aastal ja arvutuslik sõnniku lämmastiku koormus (N, kg/ha).

Maakond	LÜ/ha	N, kg/ha
Harju	0,47	47
Hiiu	0,26	26
Ida-Viru	0,17	17
Jõgeva	0,43	43
Järva	0,33	33
Lääne	0,19	19
Lääne-Viru	0,34	34
Põlva	0,30	30
Pärnu	0,26	26
Rapla	0,26	26
Saare	0,41	41
Tartu	0,23	23
Valga	0,30	30
Viljandi	0,49	49
Võru	0,24	24
Keskmine	0,33	33

3.4. Taimekaitsevahendid

Taimekaitsevahendite keskmised kasutusnormid maakonniti leiti statistikaameti lähteandmete alusel kolme aasta keskmisena (tabel 8). Teraviljade keskmist kasutusnormi diferentseeriti vastavalt teravilja liigile järgmiste suhteliste koefitsientidega: nisu 1,1, oder 0,9 ning rukis/tritikale 0,8. Rapsil kasutatakse pestitsiide võrreldes teraviljadega rohkem.

Emissiooni arvestamisel on lähtunud Olesen et al (2004) andmetest, et ühe kg keemilise taimekaitsevahendi tootmisega seonduv emissioon on 4,92 kg CO₂, 0,00018 CH₄ ja 0,0015 N₂O. Sarnaseid väärtusi on oma arvutustes kasutanud ka Soome ja Rootsi.

Tabel 8. Taimekaitsevahendite keskmine kasutus rapsile, nisule, odrale, rukkile ja tritikalele 2011–2013. aastal (kg/ha). Lähteandmed: Eesti Statistikaamet

Maakond	Raps	Nisu	Oder	Rukis ja tritikale
Harju	2,1	2,0	1,6	1,5
Hiiu	2,2	1,4	1,1	1,0
Ida-Viru	2,6	1,5	1,2	1,1
Jõgeva	2,9	1,7	1,4	1,3
Järva	2,6	2,6	2,1	1,9
Lääne	2,6	1,7	1,4	1,3
Lääne-Viru	2,1	2,1	1,7	1,5
Põlva	2,2	1,4	1,2	1,1
Pärnu	1,5	1,6	1,3	1,1
Rapla	2,2	1,9	1,6	1,4
Saare	1,8	1,3	1,1	0,9
Tartu	2,4	2,0	1,6	1,4
Valga	1,5	1,6	1,3	1,2
Viljandi	2,7	1,8	1,4	1,3
Võru	1,4	0,7	0,6	0,5
Kokku	2,3	1,8	1,5	1,3

3.5. Masintööd, mullaharimisviisid ja kütusekulu

Masintööde arvestus koostati kolme erineva mullaharimisviisi kohta: künnipõhine, minimeeritud ja otskülv (tabelid 9–11).

Tabel 9. Tööoperatsioonide arv künnipõhisel mullaharimisel

Tööoperatsioon	Talinisu	Suvinisu	Rukis	Tritikale	Oder	Raps
Künd	1	1	1	1	1	1
Mullaharimine	2	3	2	2	3	3
Külv	1	1	1	1	1	1
Kasvuaegne äestamine	1	0	0	0	0	0
Kasvuaegne väetamine	2	2	2	2	1	1
Taimekaitse	3	2	1	1	1	2
Koristus	1	1	1	1	1	1
Kõrrekoorimine		1			1	1

Tabel 10. Tööoperatsioonide arv pindmise kobestamisega ehk minimeeritud mullaharimisel

Tööoperatsioon	Talinisu	Suvinisu	Rukis	Tritikale	Oder	Raps
Mullaharimine	1	1	1	1	1	1
Külv	1	1	1	1	1	1
Kasvuaegne väetamine	2	2	2	2	1	1
Taimekaitse	3	2	1	1	1	2
Koristus	1	1	1	1	1	1
Kõrrekoorimine		1			1	1

Tabel 11. Tööoperatsioonide arv otskülvil

Tööoperatsioon	Talinisu	Suvinisu	Rukis	Tritikale	Oder	Raps
Otskülv	1	1	1	1	1	1
Väetamine	2	2	2	2	1	1
Taimekaitse	3	3	3	3	3	3
Koristus	1	1	1	1	1	1

Mullaharimisviiside jaotus maakonniti leiti statistikaameti 2010. aasta põllumajandusloenduse andmete alusel (tabel 12). Kuna Hiiu ja Ida-Viru maakonnas oli minimeeritud harimise ja otskülvil valim liiga väike andmete avalikustamiseks, siis nendes maakondades võeti aluseks kõige väiksem vastava harimisviisi osatähtsus (minimeeritud harimine 6% ja otskülv 3%). Neid harimisviiside proportsioone rakendati kõigile kultuuridele ilma täiendavata eristamiseta.

Tabel 12. Mullaharimisviisid 2010. aastal. Lähteandmed: Eesti Statistikaamet, Põllumajandusloendus 2010.

Maakond	Küнд	Minimeeritud	
		harimine	Otsekülv
Harju	61	22	17
Hiiu	91	6	3
Ida-Viru	91	6	3
Jõgeva	79	12	9
Järva	72	21	7
Lääne	74	20	5
Lääne-Viru	73	19	9
Põlva	72	18	10
Pärnu	67	25	8
Rapla	74	16	10
Saare	77	20	3
Tartu	76	15	9
Valga	77	15	8
Viljandi	64	26	10
Võru	89	6	5
Kokku	73	18	9

Iga tööoperatsiooni keskmise kütusekulu alusel (Ahokas et al 2012; Kallas et al 2006; Viil, Tamm 2011) leiti kolmele mullaharimisviisile ja igale kultuurile keskmine diiselkütuse kulu hektari kohta (tabel 13–15). Kõikidele variantidel arvestati lisaks transpordi kütusekulu keskmiselt 3 l/ha. Kütusekulu eristamist maakondade vahel ei tehtud, sest selleks puuduvad otsesed lähteandmed ja kuna muldade varieeruvus võib ka ühe maakonna piires väga suur olla, siis pole see ka otstarbekas.

Tabel 13. Kütusekulu künnipõhisel mullaharimisel (l/ha)

Tööoperatsioon	Talinisu	Suvinisu	Rukis	Tritikale	Oder	Raps
Küнд	15	15	15	15	15	15
Mullaharimine	6,6	11,6	6,6	6,6	11,6	11,6
Külv	7	7	7	7	7	7
Kasvuaegne äestamine	5	0	0	0	0	0
Kasvuaegne väetamine	6,2	6,2	6,2	6,2	3,1	3,1
Taimkaitse	6	4	2	2	2	4
Koristus	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	20
Kõrrekoorimine		7			7	7
Kokku	61,4	66,4	52,4	52,4	61,3	67,7

Tabel 14. Kütusekulu minimeeritud mullaharimisel (l/ha)

Tööoperatsioon	Talinisu	Suvinisu	Rukis	Tritikale	Oder	Raps
Mullaharimine	7	7	7	7	7	7
Külv	7	7	7	7	7	7
Kasvuaegne väetamine	6,2	6,2	6,2	6,2	3,1	3,1
Taimekaitse	6	4	2	2	2	4
Koristus	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	20
Kõrrekoorimine		7			7	7
Kokku	41,8	46,8	37,8	37,8	41,7	48,1

Tabel 15. Kütusekulu otsekülvil (l/ha)

Otsekülv	Talinisu	Suvinisu	Rukis	Tritikale	Oder	Raps
Otsekülv	7	7	7	7	7	7
Väetamine	6,2	6,2	6,2	6,2	3,1	3,1
Taimekaitse	6	4	2	2	2	4
Koristus	15,6	15,6	15,6	15,6	15,6	20
Kokku	35,2	35,2	35,2	35,2	32,1	36,1

Arvutustes eeldasime, et iga liitri diisel kütuse kasutamisel (põletamisel mootoris) on emissioon 2,6 kg CO₂ (Lindgren et al 2002).

4. Tulemused

4.1. N₂O otsene ja kaudne emissioon

Kui mullas on liigsed mineraallämmastiku varud siis kindlatel keskkonna tingimustel on mikroorganismid võimelised tootma lämmastik oksiidi. Mineraalse lämmastiku kogus, mis muudetakse lämmastikoksiidiks sõltub paljudest faktorites, näiteks esialgselt lämmastiku vormist, orgaanilise aine allikast, temperatuurist, mulla niiskusest ja hapniku olemasolust (Gödde, Conrad 2000; Ahlgren et al 2011). Liigne lämmastik haritud muldadel võib põhjustada ka lämmastiku leostumist põhjavette või siis äravoolu. Üks kindel osa lämmastiku leostumisel koos vee äravooluga eeldatavasti lendub lämmastik oksiidina, mis annab gaasi kaudset heidet.

Eesti haritavatelt põllumajandusmaadelt ei ole lämmastik oksiidi emissiooni palju mõõdetud. On avaldatud uurimustulemusi sooladelt ja kuivendatud aladelt lämmastik heitme mõõtmise kohta. Samas näitavad rahvusvahelised avaldatud teadusartiklid, et mõõtmistulemustes on suured varieeruvused, mistõttu on vähene kontrollitav statistilisus paljudes uurimustes erinevate parameetrite vahel nagu kirjeldavad oma töös Ahlgren et al (2011), milles võrreldakse lämmastik oksiidi ja omastatava lämmastiku vahelist suhet.

Nagu lähtub sama teemalisest Rootsi aruandest soovitatakse lämmastikoksiidi emissiooni arvutamiseks põllumajandus maadelt alternatiivset meetodikat. Alternatiivse meetodika aluseks on võetud Rootsi tingimustele relevantssed lämmastikoksiidi mõõtmiste seeriad põllumajandusmaadel. See meetod põhineb ulatuslikel, peamiselt rahvusvahelistel, baasandmetel. Arvutused, mis põhinevad sellel meetodikal näitavad, et lämmastik oksiidide emissioon vastab $4,1 \pm 2,5$ ja $5,0 \pm 7,2$ kg N₂O ha⁻¹ ja väetamisele aastas vähem, rohkem kui 100 kg N ha⁻¹ aastas, vastavalt.

Koos teraviljade kasvupinna suurenemisega Eestis on viimastel aastatel suurenenud väetiste ja taimekaitsevahendite kasutus. Üldiselt näitavad N₂O arvutused, et enam tekib emissioone rapsi viljelemisel (tabel 20), vähem nisu, odra ja teiste teraviljade kasvatamisel (tabel 16-19).

Tabel 16. Odra kasvatamisel tekkiv N₂O otsene ja kaudne emissioon maakondade kaupa

Maakond	Kogu emissioon mullast kg N ₂ O ha ⁻¹	Otsene N ₂ O emissioon	Kaudne N ₂ O emissioon: leostumine	Kaudne N ₂ O emissioon: lendumine atmosfääri
Harju	2,36	1,78	0,41	0,17
Hiiu	1,21	0,93	0,20	0,08
Ida-Viru	2,01	1,54	0,35	0,13
Jõgeva	2,51	1,92	0,42	0,17
Järva	2,28	1,73	0,39	0,16
Lääne	1,76	1,35	0,30	0,11
Lääne-				
Viru	2,31	1,76	0,39	0,16
Põlva	2,00	1,52	0,35	0,13
Pärnu	1,74	1,32	0,30	0,13
Rapla	1,73	1,32	0,30	0,11
Saare	1,60	1,22	0,27	0,11
Tartu	2,31	1,76	0,39	0,16
Valga	2,12	1,62	0,36	0,14
Viljandi	2,44	1,85	0,41	0,17
Võru	1,93	1,48	0,33	0,13
Keskmine	2,17	1,65	0,38	0,14

Tabel 17. Rukki kasvatamisel tekkiv N₂O otsene ja kaudne emissioon maakondade kaupa

Maakond	Kogu emissioon mullast kg N ₂ O ha ⁻¹	Otsene N ₂ O emissioon	Kaudne N ₂ O emissioon: leostumine	Kaudne N ₂ O emissioon: lendumine atmosfääri
Harju	1,89	1,41	0,31	0,16
Hiiu	1,13	0,86	0,19	0,08
Ida-Viru	1,52	1,16	0,27	0,09
Jõgeva	2,14	1,62	0,36	0,16
Järva	1,92	1,46	0,33	0,13
Lääne	1,48	1,14	0,25	0,09
Lääne-				
Viru	1,84	1,38	0,31	0,13
Põlva	1,54	1,16	0,27	0,11
Pärnu	1,48	1,13	0,25	0,09
Rapla	1,45	1,10	0,25	0,09
Saare	1,34	1,01	0,22	0,11
Tartu	1,78	1,35	0,30	0,13
Valga	1,65	1,24	0,28	0,13
Viljandi	2,00	1,49	0,35	0,16
Võru	1,45	1,10	0,25	0,09
Keskmine	1,73	1,30	0,30	0,13

Tabel 18. Tritikale kasvatamisel tekkiv N₂O otsene ja kaudne emissioon maakondade kaupa

Maakond	Kogu emissioon mullast kg N ₂ O ha ⁻¹	Otsene N ₂ O emissioon	Kaudne N ₂ O emissioon: leostumine	Kaudne N ₂ O emissioon: lendumine atmosfääri
Harju	2,07	1,57	0,35	0,16
Hiiu	1,07	0,80	0,19	0,08
Ida-Viru	1,89	1,47	0,33	0,09
Jõgeva	2,12	1,60	0,36	0,16
Järva	1,96	1,50	0,33	0,13
Lääne	1,52	1,16	0,27	0,09
Lääne- Viru	1,87	1,43	0,31	0,13
Põlva	1,78	1,37	0,30	0,11
Pärnu	1,52	1,16	0,27	0,09
Rapla	1,62	1,24	0,28	0,09
Saare	1,32	1,00	0,21	0,11
Tartu	2,00	1,52	0,35	0,13
Valga	1,89	1,43	0,33	0,13
Viljandi	2,09	1,57	0,36	0,16
Võru	1,67	1,29	0,28	0,09
Keskmine	1,84	1,40	0,31	0,13

Tabel 19. Nisu kasvatamisel tekkiv N₂O otsene ja kaudne emissioon maakondade kaupa

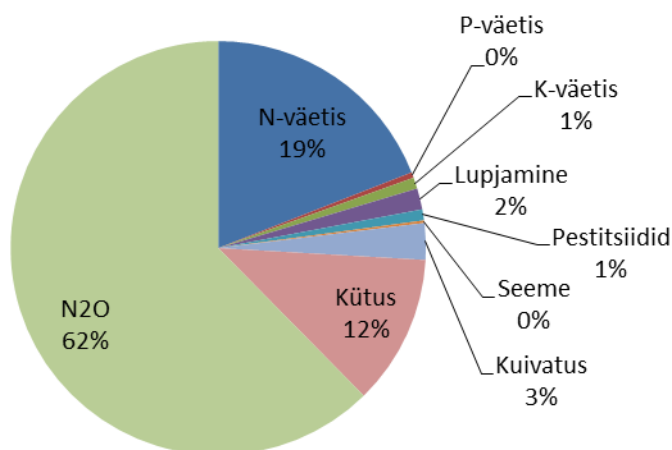
Maakond	Kogu emissioon mullast kg N ₂ O ha ⁻¹	Otsene N ₂ O emissioon	Kaudne N ₂ O emissioon: leostumine	Kaudne N ₂ O emissioon: lendumine atmosfääri
Harju	2,72	2,07	0,46	0,19
Hiiu	1,29	0,97	0,22	0,09
Ida-Viru	2,39	1,84	0,41	0,14
Jõgeva	3,00	2,28	0,52	0,20
Järva	2,70	2,06	0,47	0,17
Lääne	2,11	1,60	0,36	0,14
Lääne- Viru	2,75	2,09	0,47	0,19
Põlva	2,31	1,76	0,39	0,16
Pärnu	2,06	1,56	0,36	0,14
Rapla	2,03	1,55	0,35	0,13
Saare	1,79	1,35	0,31	0,13
Tartu	2,78	2,12	0,49	0,17
Valga	2,44	1,86	0,42	0,16
Viljandi	2,80	2,12	0,47	0,20
Võru	2,20	1,68	0,38	0,14
Keskmine	2,55	1,94	0,44	0,17

Tabel 20. Rapsi kasvatamisel tekkiv N₂O otsene ja kaudne emissioon maakondade kaupa

Maakond	Kogu emissioon mullast kg N ₂ O ha ⁻¹	Otsene N ₂ O emissioon	Kaudne N ₂ O emissioon: leostumine	Kaudne N ₂ O emissioon: lendumine atmosfääri
Harju	2,92	2,22	0,50	0,20
Hiiu	2,39	1,82	0,41	0,16
Ida-Viru	2,83	2,17	0,49	0,17
Jõgeva	3,25	2,48	0,55	0,22
Järva	2,91	2,22	0,50	0,19
Lääne	2,50	1,92	0,42	0,16
Lääne- Viru	3,16	2,42	0,54	0,20
Põlva	3,05	2,33	0,52	0,20
Pärnu	2,28	1,73	0,39	0,16
Rapla	2,77	2,13	0,47	0,17
Saare	2,66	2,01	0,46	0,19
Tartu	3,11	2,39	0,53	0,19
Valga	3,39	2,58	0,58	0,24
Viljandi	3,27	2,48	0,55	0,24
Võru	2,80	2,12	0,49	0,19
Keskmine	3,00	2,28	0,52	0,20

4.2. Raps biodiislik

EL direktiivis (2009/28/EÜ) on rapsiseemnest toodetud biodiisli viljelemise komponendi kasvuhoonegaaside emissiooni vaikeväärtus 29 g CO₂/MJ. Eesti keskmine emissioon on 33 g CO₂/MJ. Sõltuvalt maakonnast varieerub see näitaja vahemikus 29–41 g CO₂/MJ (tabel 21). Vaikeväärtusest suuremad emissioonid on eelkõige madala rapsi saagikusega piirkondades Lääne ja Valga maakonnas. Kõikide analüüsitud kultuuride osas pärineb suurim osa kasvuhoonegaasidest N₂O emissioonist (joonis 1). Rapsi viljelemisel on lämmastikväetise osa 19% ja kütusel 12%. Teiste allikate osatähtsus on väga väike.



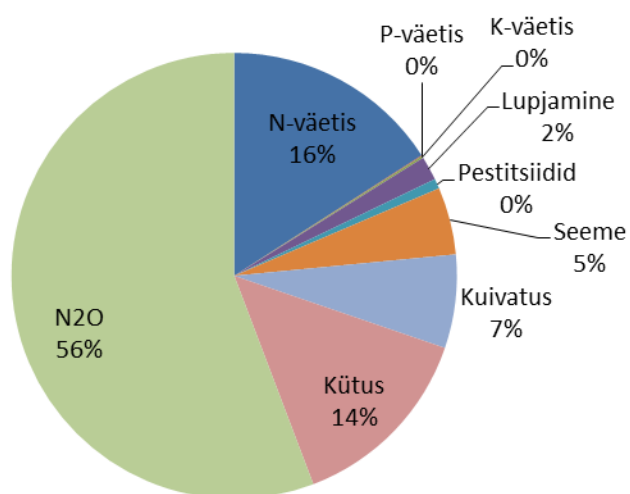
Joonis 1. Kasvuhoonegaaside emissiooni (CO₂-ekvivalendi alusel) lähteallikate jaotus rapsi kasvatamisel Eesti keskmisena

Tabel 21. Kasvuhoonegaaside emissioon rapsi viljelemisel (g CO₂-ekv/MJ_{biodiisel})

Maakond	Emissioon g CO ₂ ekv/MJ _{biodiisel}	Emissioon, kg CO ₂ ekv/ha									
		Mineraalväetised			Lupjamine	Taimekaitse- vahendid	Seeme	Kuivatus	Kütus	N ₂ O	Kokku
		N	P	K							
Harju	34	246	4	8	24	11	3	37	159	865	1356
Hiiu	33	215	6	13	24	12	3	34	178	707	1191
Ida-Viru	29	262	6	10	24	14	3	45	178	837	1378
Jõgeva	31	277	7	13	24	16	3	47	170	963	1519
Järva	35	266	7	14	24	14	3	38	168	861	1394
Lääne	37	245	6	10	24	14	3	32	169	740	1241
Lääne-Viru	32	284	6	13	24	11	3	44	167	935	1487
Põlva	34	283	6	15	24	12	3	40	167	902	1452
Pärnu	32	199	5	10	24	8	3	33	165	674	1120
Rapla	33	256	5	9	24	12	3	38	168	819	1332
Saare	35	227	5	10	24	10	3	35	171	786	1270
Tartu	31	289	6	13	24	13	3	45	169	921	1482
Valga	41	340	6	13	24	8	3	37	170	1005	1605
Viljandi	36	284	9	14	24	14	3	40	162	967	1517
Võru	35	267	8	16	24	7	3	37	177	828	1366
Keskmine	33	271	6	12	24	12	3	41	167	888	1425

4.3. Suvinisu etanooliks

EL direktiivis (2009/28/EÜ) on nisust toodetud etanooli viljelemise komponendi kasvuhoonegaaside emissiooni vaikeväärtus 23 g CO₂/MJ. Suvinisu viljelemisega kaasnev keskmine emissioon 34 g CO₂/MJ ületab sätestatud vaikeväärtust (tabel 22). Teraviljade puhul moodustab seemnetega seotud emissioon umbes 5% (joonis 2).



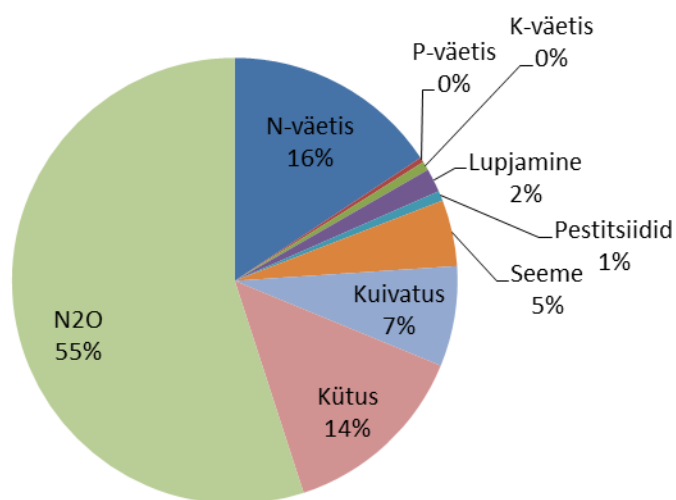
Joonis 2. Kasvuhoonegaaside emissiooni (CO₂-ekvivalendi alusel) lähteallikate jaotus suvinisu kasvatamisel Eesti keskmisena

Tabel 22. Kasvuhoonegaaside emissioon suvinisu viljelemisel (g CO₂-ekv/MJ_{etanool})

Maakond	Emissioon g CO ₂ ekv/MJ _{etanool}	Emissioon, kg CO ₂ ekv/ha									
		Mineraalväetised			Lupjamine	Taimekaitse- vahendid	Seeme	Kuivatus	Kütus	N ₂ O	Kokku
		N	P	K							
Harju	37	218	11	28	24	11	66	86	159	805	1406
Hiiu	44	95	13	26	24	7	66	47	237	381	896
Ida-Viru	35	214	16	49	24	8	66	91	237	707	1411
Jõgeva	36	251	29	79	24	9	66	104	206	888	1657
Järva	36	235	18	57	24	14	66	95	188	800	1497
Lääne	39	189	14	33	24	9	66	71	193	623	1223
Lääne-Viru	35	234	20	57	24	11	66	97	189	814	1512
Põlva	33	189	20	54	24	8	66	91	188	684	1324
Pärnu	34	170	24	57	24	8	66	82	174	609	1214
Rapla	36	163	13	35	24	10	66	75	193	600	1179
Saare	35	119	8	22	24	7	66	67	200	530	1042
Tartu	34	247	21	62	24	11	66	104	197	823	1554
Valga	37	208	24	71	24	9	66	88	201	721	1411
Viljandi	36	221	23	62	24	9	66	96	167	828	1495
Võru	35	187	20	51	24	4	66	86	233	651	1322
Keskmine	34	215	1	2	24	10	66	92	189	754	1351

4.4. Talinisu etanooliks

Talinisu viljelemise emissioon on keskmisena 28 g CO₂/MJ (tabel 23). Enamikes maakondades jääb see vahemikku 25-32 g CO₂/MJ. Erandlikult suur on Hiiu maakonna näitaja vaatlusalusel perioodil esinenud väikese saagikuse tõttu. Suurima osa talinisu viljelemisel kaasnevast emissioonist moodustab N₂O heide (joonis 3).



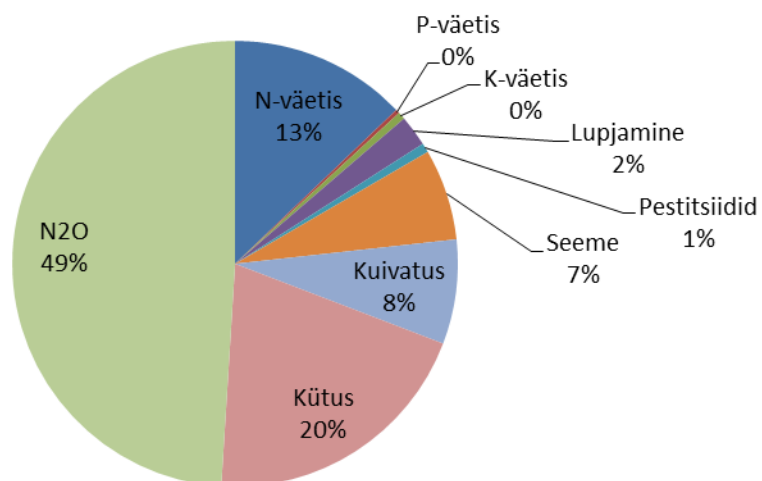
Joonis 3. Kasvuhoonegaaside emissiooni (CO₂-ekvivalendi alusel) lähteallikate jaotus talinisu kasvatamisel Eesti keskmisena

Tabel 23. Kasvuhoonegaaside emissioon talinisu viljelemisel (g CO₂-ekv/MJ_{etanool})

Maakond	Emissioon g CO ₂ ekv/MJ _{etanool}	Emissioon, kg CO ₂ ekv/ha									
		Mineraalväetised			Lupjamine	Taimekaitse- vahendid	Seeme	Kuivatus	Kütus	N ₂ O	Kokku
		N	P	K							
Harju	29	218	3	4	24	11	66	94	159	805	1383
Hiiu	101	95	3	4	24	7	66	41	237	381	859
Ida-Viru	27	214	4	8	24	8	66	99	237	707	1366
Jõgeva	30	251	7	13	24	9	66	111	206	888	1575
Järva	29	235	4	9	24	14	66	102	188	800	1443
Lääne	29	189	3	5	24	9	66	79	193	623	1192
Lääne-Viru	29	234	5	9	24	11	66	105	189	814	1456
Põlva	28	189	5	9	24	8	66	96	188	684	1267
Pärnu	32	170	6	9	24	8	66	82	174	609	1148
Rapla	25	163	3	6	24	10	66	85	193	600	1150
Saare	26	119	2	3	24	7	66	73	200	530	1024
Tartu	27	247	5	10	24	11	66	117	197	823	1499
Valga	30	208	6	11	24	9	66	93	201	721	1338
Viljandi	30	221	6	10	24	9	66	101	167	828	1431
Võru	32	187	5	8	24	4	66	88	233	651	1266
Keskmine	28	215	5	9	24	10	66	100	189	754	1370

4.5. Rukis etanooliks

Rukki viljelemise emissioon on keskmisena 30 g CO₂/MJ (tabel 24). Võrreldes teiste teraviljadega on N₂O emissiooni osa natuke väiksem ja kütuse osatähtsus suurem (joonis 4).



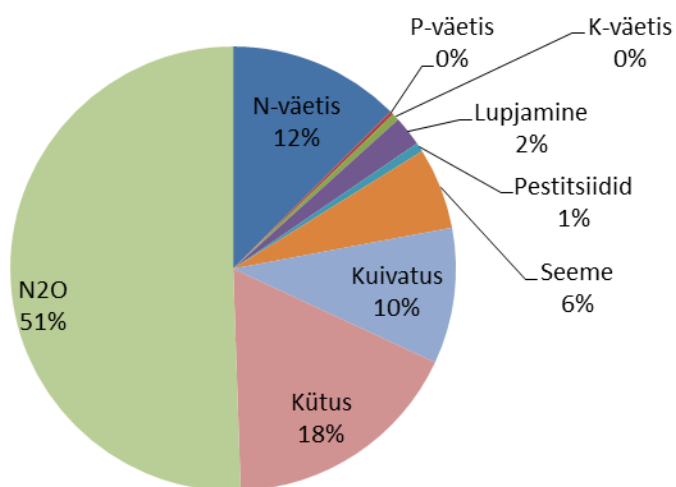
Joonis 4. Kasvuhoonegaaside emissiooni (CO₂-ekvivalendi alusel) lähteallikate jaotus rukki kasvatamisel Eesti keskmisena

Tabel 24. Kasvuhoonegaaside emissioon rukki viljelemisel (g CO₂-ekv/MJ_{etanool})

Maakond	Emissioon g CO ₂ ekv/MJ _{etanool}	Emissioon, kg CO ₂ ekv/ha									
		Mineraalväetised			Lupjamine	Taimekaitse- vahendid	Seeme	Kuivatus	Kütus	N ₂ O	Kokku
		N	P	K							
Harju	35	136	2	3	24	8	69	69	177	558	1045
Hiiu	25	60	2	3	24	5	69	75	264	335	836
Ida-Viru	34	134	3	5	24	6	69	67	264	451	1022
Jõgeva	25	157	4	8	24	7	69	114	229	633	1244
Järva	25	147	3	6	24	10	69	102	210	567	1137
Lääne	29	118	2	3	24	7	69	74	216	437	950
Lääne-Viru	32	146	3	6	24	8	69	78	210	544	1089
Põlva	36	118	3	5	24	6	69	61	210	456	951
Pärnu	26	106	4	6	24	6	69	80	194	437	926
Rapla	26	102	2	3	24	7	69	81	215	428	931
Saare	31	74	1	2	24	5	69	63	223	395	857
Tartu	33	154	3	6	24	8	69	75	219	526	1084
Valga	34	130	4	7	24	6	69	68	224	488	1020
Viljandi	30	138	4	6	24	7	69	85	186	591	1109
Võru	37	117	3	5	24	3	69	59	259	428	967
Keskmine	30	134	3	6	24	7	69	79	211	512	1044

4.6. Triticale etanooliks

Triticale viljelemise emissioon on keskmisena 23 g CO₂/MJ (tabel 25), see on võrdväärne direktiivis nisu kohta toodud emissiooni vaikeväärtusega. Emissioonis suurim osa N₂O-l ja kütusel (joonis 5).



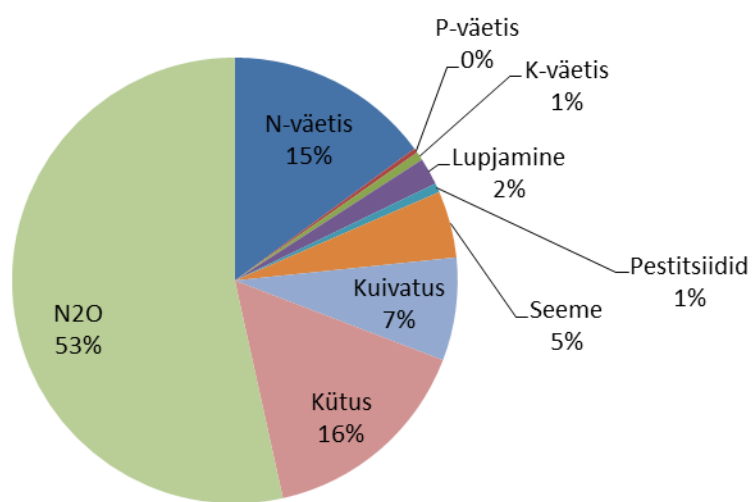
Joonis 5. Kasvuhoonegaaside emissiooni (CO₂ekvivalendi alusel) lähteallikate jaotus tritikale kasvatamisel Eesti keskmisena

Tabel 25. Kasvuhoonegaaside emissioon tritikale viljelemisel (g CO₂-ekv/MJ_{etanool})

Maakond	Emissioon g CO ₂ ekv/MJ _{etanool}	Emissioon, kg CO ₂ ekv/ha									
		Mineraalväetised			Lupjamine	Taimekaitse- vahendid	Seeme	Kuivatus	Kütus	N ₂ O	Kokku
		N	P	K							
Harju	22	136	2	3	24	8	64	116	159	614	1124
Hiiu	30	60	2	3	24	5	64	58	237	316	768
Ida-Viru	17	134	3	5	24	6	64	159	237	558	1188
Jõgeva	25	157	4	8	24	7	64	109	206	628	1206
Järva	23	147	3	6	24	10	64	114	188	581	1136
Lääne	25	118	2	3	24	7	64	86	193	451	949
Lääne-Viru	27	146	3	6	24	8	64	89	189	554	1082
Põlva	19	118	3	5	24	6	64	124	188	526	1057
Pärnu	23	106	4	6	24	6	64	91	174	451	925
Rapla	18	102	2	3	24	7	64	128	193	479	1002
Saare	31	74	1	2	24	5	64	59	200	391	820
Tartu	20	154	3	6	24	8	64	135	197	591	1180
Valga	19	130	4	7	24	6	64	132	201	558	1126
Viljandi	24	138	4	6	24	7	64	108	167	619	1136
Võru	20	117	3	5	24	3	64	118	233	493	1059
Keskmine	23	134	3	6	24	7	64	106	189	544	1077

4.7. Oder etanooliks

Odra viljelemisel on Eesti keskmine kasvuhoonegaaside emissioon 30 g CO₂/MJ (tabel 26). Väikseim on see näitaja Tartu maakonnas ja suurim Lääne maakonnas. Suurima osa emissioonist annab N₂O ning seejärel kütus ja lämmastikväetised (joonis 6).



Joonis 6. Kasvuhoonegaaside emissiooni (CO₂-ekvivalendi alusel) lähteallikate jaotus odra kasvatamisel Eesti keskmisena

Tabel 26. Kasvuhoonegaaside emissioon odra viljelemisel (g CO₂-ekv/MJ_{etanool})

Maakond	Emissioon g CO ₂ ekv/MJ _{etanool}	Emissioon, kg CO ₂ ekv/ha									
		Mineraalväetised			Lupjamine	Taimekaitse- vahendid	Seeme	Kuivatus	Kütus	N ₂ O	Kokku
		N	P	K							
Harju	32	182	2	4	24	9	58	87	159	698	1222
Hiiu	34	79	3	3	24	6	58	55	237	358	823
Ida-Viru	26	178	3	6	24	7	58	93	237	456	1061
Jõgeva	33	209	6	10	24	8	58	95	206	744	1359
Järva	33	196	4	8	24	11	58	87	188	674	1250
Lääne	35	158	3	4	24	8	58	68	193	521	1036
Lääne-Viru	31	195	4	8	24	9	58	94	189	684	1264
Põlva	27	158	4	7	24	6	58	94	188	591	1130
Pärnu	33	142	5	8	24	7	58	70	174	516	1003
Rapla	30	135	3	5	24	8	58	78	193	512	1016
Saare	29	99	2	3	24	6	58	73	200	474	939
Tartu	29	206	4	8	24	9	58	101	197	684	1289
Valga	29	173	5	9	24	7	58	93	201	628	1198
Viljandi	30	184	5	8	24	8	58	96	167	721	1270
Võru	28	156	4	7	24	3	58	95	233	572	1151
Keskmine	30	179	4	7	24	8	58	90	189	642	1201

4.8. Kasvuhoonegaaside emissioon teravilja- ja rapsisaagi kohta

Kasvuhoonegaaside emissiooni tulemused esitatuna energiaühiku kohta (CO₂-ekv/MJ peatükkides 4.2-4.7) sõltuvad suurel määral saagi diiselkütuseks või etanooliks muundamise tehnoloogiast. Otseselt viljeluse osa emissioonide kujunemisel iseloomustab paremini heitmekoormuse väljendamine saagiühiku kohta (nt CO₂-ekv/t kuivaine kohta). Teravilja ühe tonni kohta on Eesti keskmisena suurim kasvuhoonegaaside emissioon suvinisul ja väikseim tritikalel (tabel 27). Rapsi viljelemisel jääb sõltuvalt maakonnast emissioon vahemikku 758-1057 kg CO₂-ekv/t.

Tabel 27. Kasvuhoonegaaside emissioon teraviljade ja rapsi viljelemisel (kg CO₂-ekv/t kuivaine)

Maakond	Rukis	Talinisu	Tritikale	Suvinisu	Oder	Raps
Harju	531	451	339	572	487	894
Hiiu	390	1546	458	668	521	870
Ida-Viru	529	410	261	542	399	758
Jõgeva	382	459	385	556	502	802
Järva	389	452	349	548	499	905
Lääne	447	441	383	598	534	960
Lääne-Viru	485	449	422	544	471	829
Põlva	548	434	297	506	418	882
Pärnu	403	492	355	518	499	842
Rapla	401	385	273	547	454	854
Saare	476	405	483	540	446	901
Tartu	503	412	306	520	447	807
Valga	525	465	296	560	452	1057
Viljandi	453	460	366	546	461	935
Võru	570	484	312	535	425	910
Keskmine	460	433	353	514	467	863

Kokkuvõte

Töö eesmärk oli leida erinevate põllumajanduskultuuride viljelemisel tekkivate kasvuhoonegaaside keskmised väärtused Eestis. Arvutused teostati raps, rukki, nisu, odra ja tritikale kohta. Nende kultuuride viljelemisega kaasnevad kasvuhoonegaaside heitmete keskmised väärtused leiti maakondade kaupa. Metoodika välja töötamisel võeti aluseks KKM määruse nr 45 "Vedelkütuste kohta esitatavad keskkonnanõuded, biokütuste säästlikkuse kriteeriumid, vedelkütuste keskkonnanõuetele vastavuse seire ja aruandmise kord ning biokütuste ja vedelate biokütuste kasutamisest tuleneva kasvuhoonegaaside heitkoguste vähenemise määramise metoodika" ja direktiivi (2009/28/EC) juhised. Arvutusteks vajalik lähteandmestik pärineb valdavalt kolme aasta keskmisena (2011-2013) Eesti Statistikaametist ning osaliselt on lähtunud eksperthinnangutest.

EL direktiivis (2009/28/EÜ) on rapsiseemnest toodetud biodiisli viljelemise komponendi kasvuhoonegaaside emissiooni vaikeväärtus 29 g CO₂/MJ. Eesti keskmine emissiooni tegelik väärtus on 33 g CO₂/MJ. Direktiivis on nisust toodetud etanooli viljelemise komponendi kasvuhoonegaaside emissiooni vaikeväärtus 23 g CO₂/MJ. Analüüsitud teraviljade viljelemisega kaasnev emissioon arvutati etanooliks muundamisel saadava energiaühiku kohta. Tegelikud emissiooniväärtused Eesti keskmisena on sõltuvalt teravilja liigist järgmised: suvinisu 34 g CO₂/MJ, talinisu 28 g CO₂/MJ, rukis 30 g CO₂/MJ, tritikale 23 g CO₂/MJ ja oder 30 g CO₂/MJ. Viljelemisega kaasnev kasvuhoonegaaside emissioon väljendatuna põhisaagi kuivaine kohta on rapsil 863 kg CO₂/t, suvinisul 514 kg CO₂/t, talinisul 433 kg CO₂/t, rukkil 460 kg CO₂/t, tritikalel 353 kg CO₂/t ning odral 476 kg CO₂/t.

Kasutatud kirjandus

- Ahlgren, S., Hansson, P.-A., Kimming, M., Aronsson, P., Lundkvist, H. 2011. Greenhouse gas emissions from cultivation of agricultural crops for biofuels and production of biogas from manure. Report. 77 pp.
- Ahlgren, S., Hansson, P.-A., Kimming, M., Aronsson, P., Lundkvist, H. 2009. Greenhouse gas emissions from cultivation of agricultural crops for biofuels and production of biogas from manure. 2009-09-08, Revised version. Dnr SLU ua 12-4067/08.
- Ahokas, J. (editor), 2012. Energia põllumajanduses. 138 pp.
- BioGrace. 2015. BioGrace greenhouse gas calculation tool version 4d. <http://www.biograce.net/>
- Dalgaard, T., Bienkowski, J.F., Bleeker, A., et al. 2012. Farm nitrogen balances in six European landscapes as an indicator for nitrogen losses and basis for improved management. *Biogeosciences*, 9, 5303–5321
- Edwards, R., Mulligan, D., Giuntoli, J., Agostini, A., Boulamanti, A., Koeble, R., Marelli, L., et al. 2013. Assessing GHG default emissions from biofuels in EU legislation. Review of input database to calculate “Default GHG emissions”, following expert consultation 22-23 November 2011, Ispra (Italy). JRC Scientific and Policy Reports. EUR 25595 EN. European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport. doi:10.2788/66442
- EU Directive 2009/28/EC of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. 62 pp.
- EV (Eesti Vabariik). 2008. Aruanne Eesti säästva arengu riikliku strateegia “Säästev Eesti 21” rakendamise tulemustest. Tallinn. Lk 74. In Estonian.
- IPCC National Greenhouse Inventories Programme; published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Japan on behalf of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006; available at: http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf
- IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. (S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe, Eds.). IGES, Japan. <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- Kallas, A. 2006. Final report for the project “Põllukultuuride ja heintaimede viljelustehnoloogiate ja vastavate viljelusmasinate Eesti oludele sobivuse uurimine ja nende arvuliste vajaduste selgitamine nii tootmisüksuse kui Eesti seisukohalt tervikuna”. 55 pp. http://www.pikk.ee/upload/files/Teadusinfo/Lopparuanne_112_2002-2006.pdf
- Lindgren, M., Petterson, O., Hansson, P.-A. & Norén, O. 2002. Jordbruks- och anläggningsmaskiners motorbelastning och avgasemissioner – samt metoder att minska bränsleförbrukning och avgasemissioner. Uppsala: JTI-rapport 308, Lantbruk & Industri. JTI - institutet för jordbruks och miljöteknik, viidatud Ahlgren et.al. after (2011)
- LowCVP, 2004. Well-to-Wheel Evaluation for Production of Ethanol from Wheat. A Report by the LowCVP Fuels Working Group, WTW Sub-Group. FWG-P-04-024.
- Olesen, J.E., Weiske, A., Asman, W.A., Weisbjerg, M.R., Djurhuus, J. & Schelde, K. 2004. FarmGHG. A model for estimating greenhouse gas emissions from livestock farms. Documentation. Danish Institute of Agricultural Sciences.
- PMK. 2012. Põllumajandusuuringute Keskus: Soostunud ja soomuldade orgaanilise süsiniku sisaldus ja vastavalt sellele 1:10 000 mullakaardi võimalik korrigeerimine. 6 lk. In Estonian.

Viil, P., Tamm, K. 2011. Teraviljafoorum 2011, pp 19-23