



Energia põllumajanduses



Energia põllumajanduses

toimetaja
Jukka Ahokas

Tartu 2012

ENPOS

Energy Positive Farm



EUROPEAN UNION
EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND
INVESTING IN YOUR FUTURE



CENTRAL BALTIC
INTERREG IV A
PROGRAMME
2007–2013

Esikaas: viljapõld Tartumaal (foto: Väino Poikalainen)

Tagakaas: Helsingi Ülikooli Viikki katselaudas (foto: Väino Poikalainen)

Toimetaja: Jukka Ahokas

Toimetuskolleegium: Väino Poikalainen, Imbi Veermäe, Jaan Praks,
Eugen Kokin, Helis Rossner

Küljendus: Väino Poikalainen

Soomekeelsete tekstide tõlge eesti keelde: Väino Poikalainen

Kirjastaja: Eesti Maaülikool

Copyright ©

Jukka Ahokas, Winfried Schäfer, Hannu Mikkola, Mari Rajaniemi, Tapani Jokiniemi,
Helis Rossner, Liina Talgre, Enn Lauringson, Henn Raave, Alar Astover, Argo Normak,
Imbi Veermäe, Jaan Praks, Juri Frorip, Eugen Kokin

ISBN 978-9949-484-70-6

Tartu, 2012
Trükk: Greif OÜ

Sisukord

Sissejuhatus	7
Eestikeelse väljaande eessõna	9
PÕLLUMAJANDUSLIK ENERGIAKASUTUS	11
Põhimõisted	13
Töö ja võimsus	13
Energia	13
Kasutegur	15
Energeetiline efektiivsus	15
Eritootlus ja erienergia	16
Põllumajanduslikud energia- ja heitmeanalüüsid	16
Energiaanalüüs	16
Heitmete analüüs	17
Süsinikdioksiidi ekvivalent	17
Süsinikdioksiidi heitmed	17
Põllumajanduslik energiatarbimine	18
Otsene ja kaudne energiakulu	18
Taimekasvatus	18
Loomakasvatus	20
ENERGIAKASUTUSE SEIRE PÕLLUMAJANDUSTALUS	23
Energiakasutuse analüüs	25
Üldanalüüs (<i>Top-Down</i>)	25
Detailne analüüs (<i>Bottom-Up</i>)	27
Energiakasutuse võrdlus	28
Energiakulu seire ja võrdlus	30
Traktorid ja põllutöömasinad	30
Kütteseadmed	31
Teravilja kuivatamine	32
Ehitised	32
Elektriseadmed	33
Loomakasvatushoonete seadmed	34
Elektrikulu seire	37
Energiaseire näiteid	38
Taimekasvatustalu 5EE	38
Piimakarjatalu 2FIN	39
Piimakarjatalu 2EE	44
ENERGIA SÄÄSTMINE PÕLLUMAJANDUSTALUS	49
Taimekasvatus	51
Väetiseenergia säästmise võimalused	52
Väetisekasutuse optimeerimine	54

Kokkuhoiu võimalus lämmastikku siduvate taimede arvel	56
Energia kokkuhoid liblikõieliste kasvatamise näitel	61
Vahekultuuride kasvatamine	63
Toitainete ringluse maksimeerimine talu tasandil	63
Masinate kütusekulu kokkuhoiu võimalused	66
Traktorite ja põllutöömashinate mootorid	66
Rehvide libisemine	68
Põllutöömashinate seisund ja häälestamine	69
Põllutööde kasutegur	69
Talupidamise korraldamine	69
Otsekülv	70
Põldude seisund ja paiknemine	70
Kuivatamine	72
Kuivatamistingimused	72
Niiskusesisaldus koristamisel ja kuivatamisel	72
Saagi säilivuse tagamine	72
Kuivatustemperatuur	73
Kuivati soojuslik isoleerimine	75
Kuivati seisund	76
Saagi muud säilitusviisid	76
Loomakasvatushooned	77
Hooned	77
Soojusjuhtivus	78
Soojuskaod ventileerimisel	79
Summaarne soojuskadu	79
Soojuse taaskasutus ventileerimisel	81
Loomakasvatushoonete jahutamine	81
Energiasäästlikud ventilaatorid	82
Ventilaatorite ohjamine	82
Ventilaatorite hooldus ja puhastamine	82
Ventilatsioonikanalid	82
Valgustite energiatõhusus	83
Hõõglambid	83
Päevavalguslambid ehk madalarõhulised elavhõbelambid	84
LED-lambid	84
Kõrgerõhulised naatriumlambid	84
Valgustite puhastamine ja ruumide pinnakatte materjal	85
Valgustite kasutusiga	85
Energiakulu vähendamine söödatootmisel	86
Sealiha tootmine	86

Kokkuvõte energiakulu vähendamisest sealih tootmisel	87
Söödad	88
Broileriliha tootmine	88
Kütmine	89
Soojuskaod	90
Ventilatsioon	90
Valgustus	90
Piima tootmine	92
Söötmise	93
Ehitised ja masinad	95
Elektrienergia tarbimine	95
Valgustus	97
Ventilatsioon	99
Veevarustus ja vee soojendus	100
PÖLLUMAJANDUSTALU TAASTUV JA KOHALIK ENERGIA	101
Taastuenergia kasutamine	103
Tahked kütteained	104
Hakkpuit	104
Põhk	105
Turvas	106
Biogaas	107
Seiretal 1FIN	109
Seiretal 2FIN	111
Seiretal 3FIN	112
Tuuleenergia	115
Päikeseenergia	117
Päikeseelekter	118
Elektri salvestamine	120
Maasoojus	121
Üldiselt	123
Talus toodetavad biokütused	123
Rapsiõli ja sellest metüülestri valmistamine	123
Vedelad biokütused põllumajandusettevõtte energiaallikana	123
Biokütuste energia ja keskkonnamõjud	128
PÖLLUMAJANDUS 2020	131
Maaelu arengud	133
Põllumajandusettevõtete suurus ja loomade arv	133
Energia kasutamine	135
Taastuenergia tootmine	136
Ökokogukonnad ja mahetootmine	137



ENPOS projekti kavandamine Helsingi Ülikooli agrotehnoloogia osakonnas 2008. ja ...



*... Eesti Maaülikooli toiduteaduse ja toiduainete tehnoloogia osakonnas 2009. aastal
(fotod: Väino Poikalainen)*

Sissejuhatus

Käesolev raamat on koostatud projekti ENPOS raames. Lühend ENPOS on tuletatud projekti inglisekeelsest nimetusest *Energy Positive Farm*. Projekti finatseeriti Euroopa Liidu programmist *Central Baltic INTERREG IV A*. Selle täitmisel osalesid Eesti Maaülikool, Helsingi Ülikooli põllumajandusteaduste õppetool ning Soome Maa- ja Toidumajanduse Uurimiskeskus MTT. Projekti käigus kaardistati Soome ja Eesti seiretalude energiakasutust. Andmete analüüsile tuginedes koostati soovitusel energia kokkuhoiduks ja efektiivsemaks kasutamiseks.

Põllumajandus on viimase 50 aasta jooksul muutunud üha enam sõltuvaks fossiilsetest energiaallikatest: töid sooritatakse valdavalt masinatega ja väetiseid toodetakse suuremas osas maagaasi abil. Taludes leidub mitmesuguseid võimalusi fossiilse energia säästmiseks ning kohalike energiaallikate kasutuselevõtuks. Praegu pole kõik säästumeetmed veel majanduslikult tasuvad, kuid üha selgemini on ilmnemas tendents, et põllumajanduslikule energiale kulutatava raha osakaal pidevalt kasvab. Tulevikus, võimalik, et juba 2020. aastaks (kuhu heidetakse pilk ka käesolevas raamatus) on põllumajanduse energeetiline efektiivsus ning kohalike ja taastuvate energiallikate kasutamine muutunud talunike jaoks märgatavalt olulisemaks. Praegugi õnnestub energiat säästa, ilma selleks suuremaid kulusi tegemata. Esmatähtis on seejuures käivitada põllumajandustalude energiakasutuse seire, mille käigus saavad selgeks "lekkekohad" ja võimalused nende kõrvaldamiseks. Nii mõneski põllumajandusettevõttes esineb teatud masina, seadme või töö puhul ülemäärast, kuid välditavat energiakulu.

Uuemate traktorite kasutamisel on kütusekulu pidevalt jälgitav ning väljendatav liitrite-

na hektari kohta (l/ha). Kütuse tunnikulu (l/h) kajastab eelkõige mootori kasutatud võimsust, hektarikulu aga tehtud tööd (ja sellega ka töövõime). Niisugune teave võimaldab traktoristil palju objektiivsemalt hinnata kütusekulus toimuvaid muutusi.

Põllutöö- ja loomakasvatuse seadmed võiks tulevikus varustada energiakulu seireks ja selle indikatsiooniks vajalike vahenditega. Olemasolevate elektriseadmete energiakulu mõõtmine võib kujuneda suhteliselt kulukaks, sest muuta tuleb elektrilisi ühendusi. Märgatavalt odavam on mõõtevahendid paigaldada seadmetele juba neid tootvas tehases. Masinad muutuvad pidevalt üha „arukamaks“ ning energiakulu seirefunktsiooni täiendav lisamine ei teeks neid kuigivõrd kallimaks. Automaatjuhtimise otstarbel sooritatakse juba praegugi masinates mitmeid energiakulu ka- jastavaid mõõtmisi, mistõttu vastava seiresüsteemi juurutamiseks vajataks vaid teatud täiendusi.

Kõige kergemini saab energiasäästu mõjutada koolituse ja nõustamisega. Õpetades traktoristile selgeks energiasäästliku sõiduviisi, saab kokku hoida 10 – 20% kütust. Kuivati soojakulu saab kokku hoida 10 – 30% kuumade välispindade isoleerimise ja sobiliku kuivatusrežiimi valikuga. Nii suure säästu arvelt saaks aastas kütta 15 000 pereelamut Soomes ja Eestis.

Taimakasvatuses tuleks soovitada lämmastikku siduvate taimede ulatuslikumat viljelemist, kasutamaks neid nn roheväetisena. See võimaldab lämmastikväetiste kokkuhoidu lisaks parandada ka mulla struktuuri, mis omakorda suurendab mineraalväetiste mõju efektiivsust.

Piima ja veiseliha tootmisel ollakse loobumas soojustatud lautade kasutamisest. Sellega väheneb märgatavalt soojusenergia kulu, sest soojus-

tust ja kütmist vajavad siis ainult lüpsiplatsid, jooginõud ja olmeruumid. Kui lauda sundventileerimise asemel toimib loomulik õhuvahetus, kaob ka vajadus ventilaatorite järele.

Karjakasvatustes on otstarbekas kasutada võimalikult palju oma talus toodetud söötasid. Ostsööda tootmiseks kulub alati rohkem energiat. Karja reproduktsiooniks vajatakse samuti palju energiat. Mida lühemalt püsivad lüpsilehmad karjas, seda enam tuleb kasvatada noorloomi praagitavate lehmade asendamiseks.

Loomakasvatustes rakendatavate masinate energiakulu varieerub majapidamiste vahel suuresl määral. Seda tingivad eripärad tootmisviisis ja seadmetes. Loomakasvatuse energiakulu mõjutab ka söötmisviisi valik. Broileri- ja seakasvatustes peavad tootmishooned olema loomade heaolu tagamiseks soojustatud ning hästi ventileeritud. Neis aitaksid energiat säästa soojusvahetid, mis võimaldavad väljutatava õhu soojust taaskasutada. Enamasti aitab sigalates ja kana-

lates kulutusi küttele vähendada üleminek kohalikele kütteainetele. Energiakulu taastuvate kütteainete kasutamine küll ei vähenda, kuid kuna need seovad kasvuperioodi jooksul õhu süsihappegaasi, siis väheneb kokkuvõttes atmosfääri paisatava süsihappegaasi kogus. Kohalikele kütteainetele üleminek on majanduslikult tulusam kui soojuse taaskasutust võimaldavate soojusvahetite soetamine.

Muude majandusharudega võrreldes tarbitakse põllumajanduses energiat siiski suhteliselt tagasihoidlikult ning selle sääst ei mõjuta kuigivõrd kogu riigi energiakulu. Konkreetse talu jaoks võib aga energia säästmine osutuda väga oluliseks majanduslikuks teguriks. Eriti veel siis, kui selleks pole vaja muud kui teatud määral koolitust ja väheseid investeeringuid.

*Jukka Ahokas,
projekti ENPOS juht*



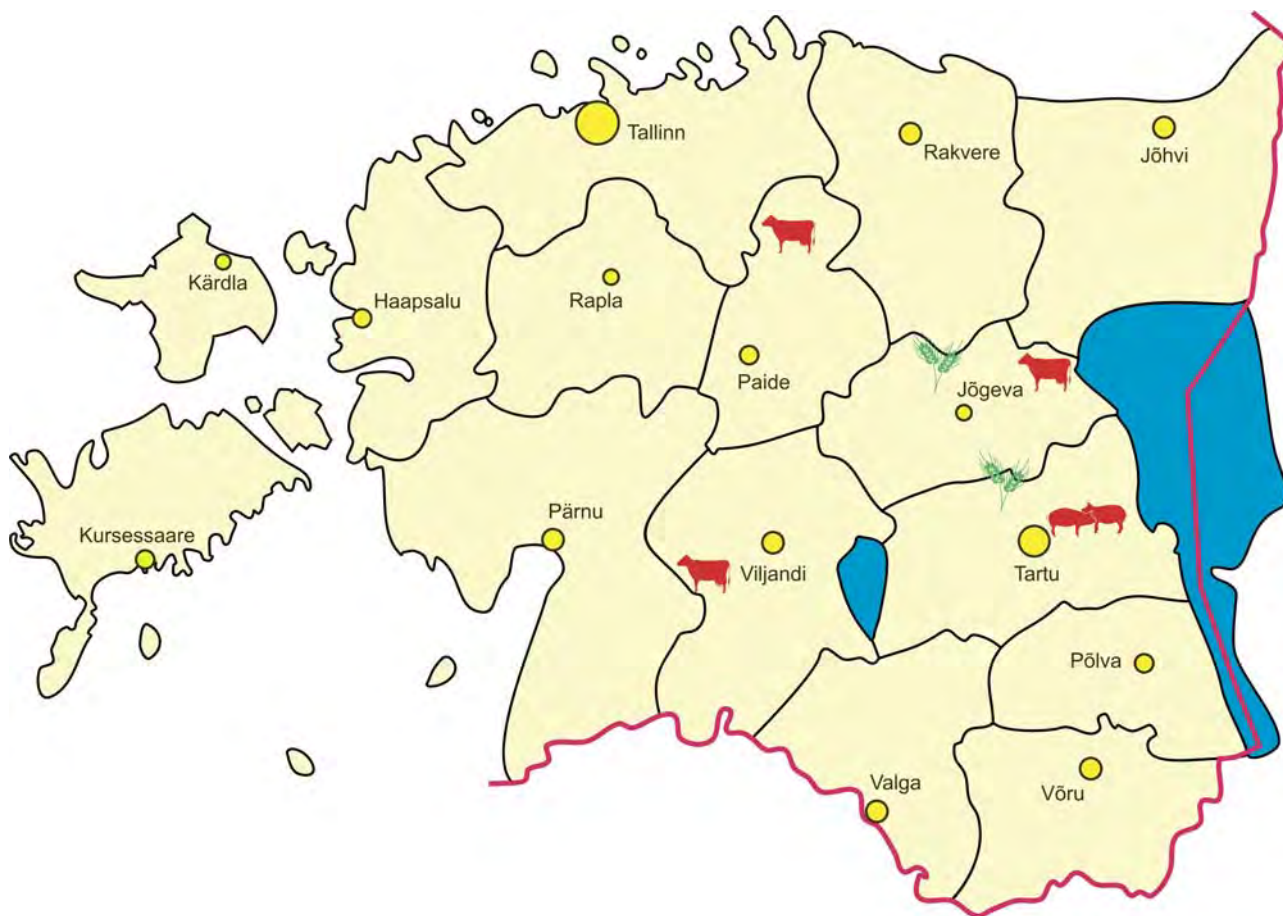
Energiakasutuse ja -säästmise seisukohast on oluline uurimisbaasi pidev uuendamine: Eesti Maaülikooli robotlüpsiga katselauda ehitus (foto: Väino Poikalainen)

Eestikeelse väljaande eessõna

Energeetilise efektiivsuse parandamine talu tasandil on kasvav trend, arvestades võimalust, et talud saavad end ise energiaga (biomassi-, sõnnikuenergia jne) varustada ja seda säästa. Põllumajandustootmise energiakasutuse analüüs võimaldab hinnata ka selle keskkonnamõju, kuna fossiilsete kütuste energia kasutamisega paisatakse keskkonda kasvuhoonegaase. Projekti EN-POS raames uuriti energiakasutust kokku kuues Eesti seiretalus. Neist kaks olid spetsialiseerunud taimekasvatusele, üks seakasvatusele ja kolm piima tootmisele. Seiretalude valik on tehtud lähitult nende asukohast ja talu suurusest. Talude

ligikaudne paiknemine on toodud juuresoleval joonisel ning neid iseloomustavad üldandmed on esitatud tabelis.

Taimekasvatuse seiretalude valikul arvestati mh harimistehnoloogiat. Vaatluse all olid otsekülvitehnoloogia ning minimeeritud ja künnipõhise harimistehnoloogiaga talud. Projekti perioodi jooksul toimus katsetaludest andmete kogumine põlluraamatu, raamatupidamise kokkuvõtete ja spetsiaalsete mõõtmistulemuste alusel. Kogutud andmete põhjal arvutati projekti algetapil paika pandud metoodika alusel tootmise energiakasutus ja kaardistati suurimad energiakulu kohad.



Seiretalude asukohad Eestis: rohelisega on tähistatud taimekasvatuse- ja punasega loomakasvatustalud (joonis: Väino Poikalainen)

Seiretalusid iseloomustavad andmed

Talu number	Pind, ha	Tootmistüüp	Loomade arv
Seiretal 1	4500	Veisekasvatus (piimakari), haljassööda- ja teraviljakasvatus	1643 – 1778
Seiretal 2	1752	Veisekasvatus (piimakari), haljassööda-, teravilja- ja rapsikasvatus	523 – 526
Seiretal 3	2700	Veisekasvatus (piimakari), haljassööda- ja teraviljakasvatus	559 – 596
Seiretal 4	-	Seakasvatus	2966 – 3470
Seiretal 5	360 – 380	Teravilja- ja rapsikasvatus	-
Seiretal 6	354 – 376	Teravilja- ja rapsikasvatus	-

Meie naaberriikides on kasutusele võetud meetmed talude energiakasutuse kaardistamiseks. Soome Põllumajandus- ja Metsandusministeeriumi poolt loodud programmi *Farm Energy Programm* eesmärk on kaardistada talude energiakasutus ja võimalusel viia sisse muudatused energiakulude vähendamiseks. Seeläbi loodetakse saavutada majanduslikku kasu ja vähendada kasvuhoonegaaside emissiooni. *Eco-driving* kursused, mille käigus õpetatakse traktoriste säästlikumalt masinat juhtima, on soodustanud kütuse kokkuhoidu. Energia kasutamise pidev jälgimine tagab võimalike „lekete“ korral kohese reageerimise võimaluse ja kokkuhoiu.

Põllumajandussektori energia tarbimine on suhteliselt väike ja kokkuhoid ei mõjuta märkimisväärselt kogu riigi energia tarbimist. Peamine kasu saaja on põllumajandusettevõtja ja arvestatavat energia kokkuhoidu on võimalik saada suhteliselt väikeste investeeringutega ning vastavate koolitustega.

Suur tänu seiretaludele, kelle andmed toetasid käesolevat projekti.

Helis Rossner

Projekti ENPOS koordinaator Eestis



Automaatjuhtimisel toimiv seakasvatustalu jõusöödatsehh (foto: Väino Poikalainen)

PÖLLUMAJANDUSLIK ENERGIAKASUTUS

Jukka Ahokas



Foto: Väino Poikalainen



Elektrienergia ja selle saadavus on põllumajandusliku tootmise olulised tegurid (foto: Väino Poikalainen)



Põllutööd on efektiivsemad kaasaegsete traktorite ja masinate kombineeritud kasutamisel (foto: Väino Poikalainen)

Põhimõisted

Töö ja võimsus

Töö ja võimsus on füüsikalised mõisted. Definitsiooni kohaselt on töö kehale rakenduva jõu ja liigutud teepikkuse korrutis. Töö mõõtühik on džaul (J) ehk njuuton-meeter (N·m). Kui näiteks äket veetakse jõuga 15 kN ja see läbib tunni jooksul 8 km, siis äkkega tehtav töö on $15 \times 8000 = 120\,000$ kJ.

Võimsus iseloomustab seda, kui kiiresti suudetakse tööd teha. Kui antud näites tehtud töö sooritati ühe tunniga (sõidukiirus 8 km/h), siis selleks vajalik võimsus on 120 000 kJ/h ehk $120\,000(\text{kJ})/3600(\text{s}) = 33$ kW. Antud võimsus on vajalik üksnes äkke vedamiseks, kuid vedava traktori liikumiseks tuleb samuti arvestada teatud võimsust.

Kui tegemist pole mitte vedamisel, vaid pöörlemisel tehtava tööga (näiteks mootori poolt tehtav töö), siis tuleb selle arvutamiseks väändemoment korrutada pöördenurgaga. Arvutame näiteks mootori poolt tunnis tehtava töö, kui mootorivõlli väändemoment on 300 N·m ja pöörlemiskiirus on 1400 p/min. Antud juhul on moment esitatud SI-süsteemi ühikutes, mistõttu tuleb ka pöördenurga suurus avaldada sama süsteemi ühikutes ehk radiaanides. Tunni jooksul teeb mootorivõll $1400 \times 60 = 84\,000$ pööret. Ühes täispöördes on 2π (ligikaudu 6,28) radiaani, mistõttu saame summaarseks pöördenurgaks 527 520 radiaani ning tunni jooksul tehakse 158 256 000 N·m tööd. Mootori võimsus peab sellise töö tegemiseks olema $158\,256(\text{kN}\cdot\text{m})/3600(\text{s})$ ehk 44 kW.

Elektriseadmetes, kus kasutatakse alalisvoolu, saadakse võimsuse (P) väärtus seadet läbiva voolutugevuse (I) korrutamisel pingelanguga (U). Vahelduvvoolu ahelates tuleb võimsuse arvutamisel võtta arvesse ka tegurit, mis kajastab voolu- ja pingevektori vahelise nihke ($\cos \varphi$)

mõju. Selle võimsuskordaja väärtuse leiab enamasti elektriseadmele kinnitatud põhinäitajate sildilt. Elektrimootorid võivad, samuti nagu traktori mootoridki, olla kergemini või raskemini koormatud. Traktormootori koormatust väljendab mootori pöörlemiskiiruse muutumine, millega kaasneb ka sisepõlemise iseloomuliku heli muutus mootoris. Elektrimootori koormatus niivõrd selgelt ei väljendu.

Kui traktori mootori võimsuseks on märgitud 100 kW, siis sellega tähistatakse suurimat võimalikku võimsust. Sama tähendab ka elektrimootori põhinäitajate sildil toodud võimsus. Mootori hetkevõimsus töö ajal oleneb selle koormatusest antud hetkel, jäädes üldjuhul põhinäitajate sildil esitatud maksimaalvõimsusest madalamaks.

Põllumajandustööl kasutatakse ka õhu või vedeliku liikumise energiat. Näiteks kuivatites eemaldatakse materjalist niiskust ning loomakasvatushoonetes tagatakse sobilik sisekliima õhu abil. Õli voolamist rõhu all rakendatakse töö tegemiseks masinate hüdraulikaseadmetes. Veepumbaga tekitatud rõhk transpordib vett ühest kohast teise. Vedeliku vooluvõimsuse arvutamiseks tuleb vooluhulk korrutada vedelikule mõjuva rõhuga. Kui traktori hüdraulikasüsteem pumpab tootlikkusega 70 l/min ($0,0012 \text{ m}^3/\text{s}$) ja rõhuga 15 MPa (150 bar), siis õlivoolu võimsus on:

$$0,0012(\text{m}^3/\text{s}) \times 15\,000 (\text{kPa}) = 18 \text{ kW}.$$

Energia

Nimetus energia pärineb kreeka keelest ja tähendab aktiivsust või tegevust. Füüsikas tähendab energia mingi süsteemi võimet teha tööd. Rahvusvahelises mõõtühikute süsteemis (SI-süsteem) on energiaühikuks džaul (J), kuid kasutatakse ka muid ühikuid (nagu kWh ning selle tuletisi). Põhiühikut

(džaul) rakendatakse energiakandjate iseloomustamisel harva, sest energiakulu hindamine oleks siis tülikas. Kilovatt-tund (kWh) on väga levinud ühik elektrienergia kulu mõõtmisel. Vedelkütuste kulu mõõtmine toimub liitrites ja tahkete küttematerjalide (näiteks küttepuidu) puhul kasutatakse ühikuna kuupmeetrit. Liitrid ja kuupmeetrid on tavapraktikas sageli ka energiaühikute ekvivalendiks.

Energia esineb eri vormidena: potentsiaalse energiana, kineetilise (ehk liikumise) energiana, elektromagnetilise jne energiana. Energiasid muundatakse mehaaniliseks tööks, seda kasutatakse hoonete soojendamiseks, toidu või sööda valmistamiseks jms. Küttekolletes ja sisepõlemismootorites vabaneb kütteainetes sisalduv keemiline soojusenergia, millega köetakse hooneid, tehakse mehhaanilist tööd või sooritatakse mitmesuguseid muid operatsioone. Seega võib energia muunduda ühest liigist teiseks. Muundumise kasutegur ei ole 100%, vaid osa energiast läheb selle käigus kaotsi. Pärast muundumist on energiat alati vähem kui seda oli algse kujul.

Müügitehingutes kasutatakse sageli erinevate energialiikide eripärast tulenevaid mõõtühikuid. Elektrienergiat on hõlbus mõõta kilovatt-tundides (kWh), mistõttu see ongi elektrienergia müügitehingutes kasutatav ühik. Kütuseid mõõdetakse mahu- või kaaluühikutes ning samu ühikuid kasutatakse siis ka müügil. Sõidukite kütused ostetakse alati mõõdetuna mahuühikutes (liitrites)

ja samade ühikute abil väljendatakse ka kütusekulu kokkuleppelise näitaja kohta (liitrit 100 km kohta, liitrit tunnis, liitrit tonnkilomeetri kohta). Kütuste ja küttematerjalide energiasisaldust väljendab aga nende kütteväärtus, mis tähendab põletamisel soojusena vabanevat energiahulka. **Tabelis 1** on esitatud mõnede materjalide kuivaine (niiskusesisaldus on 0%) tüüpilised kütteväärtused.

Energia muundumine soojuseks või tööks ei toimu kadudeta, parimal juhul saavutatakse põletamisel 90%-ne kasutegur. Lihastöö kasutegur on heal juhul 20%. Söödud leiva energiast on võimalik tööks muuta vaid väikest osa. Sisepõlemismootorid on võimelised muutma mehaaniliseks tööks kuni 45% kütuses sisalduvast energiast. Enamik materjale sisaldab niiskust, mida arvestatakse kütteväärtuse hindamisel, lahutades esmalt materjali kaalust vee osa ning arvates kütuse energiasisaldusest maha veel ka sama koguse vee aurustamiseks vajaliku soojusenergia.

Joonisel 1 on esitatud kütteväärtuse sõltuvus materjali niiskusesisaldusest. Lähtutud on kuivaine kütteväärtusest 19 MJ/kg (~5,3 kWh/kg), mis on iseloomulik enamikule taimsetele materjalidele. Joonisel on kütteväärtus esitatud ühe kilogrammi materjali kohta. Materjali kuivamisele selle kaal väheneb (vesi aurustub), kuid ruumala muutub vähe. Seetõttu mõõdetaksegi tahke küttematerjali kogust sageli mahuühikutes

Tabel 1. Mõnede materjalide kuivaine kütteväärtused

Materjal	Kütteväärtus MJ/kg	Kütteväärtus kWh/kg	Tihedus kg/m ³	Kütteväärtus kWh/m ³
Teravili	20	5,6	700	3890
Põhk	19	5,3	100	530
Rapsiseeme	37	10,3	600	6170
Puu	19	5,3	400	1410
Kütteõli	43	11,9	830	9910
Etanool	27	7,5	790	5930

(m³, tihumeeter). Märg puu kaalub küll enam, kuid selle maht jääb samaks ega olene niiskusesisaldusest. Seega ei müüda energiat alati selle põhiühikutes džaulides (J), vaid käepärasemates ühikutes. Kõige levinumateks neist on megadžaul (MJ; 1 MJ = 0,28 kWh) ja kilovatt-tund (kWh; 1 kWh = 3,6 MJ). Põllumajandustalus, kus tegemist on suuremate energiakogustega, võidakse kasutada ühikutena ka megavatt-tundi (MWh), gigavatt-tundi (GWh), teravatt-tundi (TWh), gigadžauli (GJ) või teradžauli (TJ). Ka need on kõik SI-süsteemi ühikud, kuid väljendavad põhiühikuid tuhande, miljoni, miljardi jne kordsetes suurustes (1 kWh = 1000 Wh, MWh = 1000 kWh, 1 GWh = 1000 MWh, 1 TWh = 1000 GWh).

Kasutegur

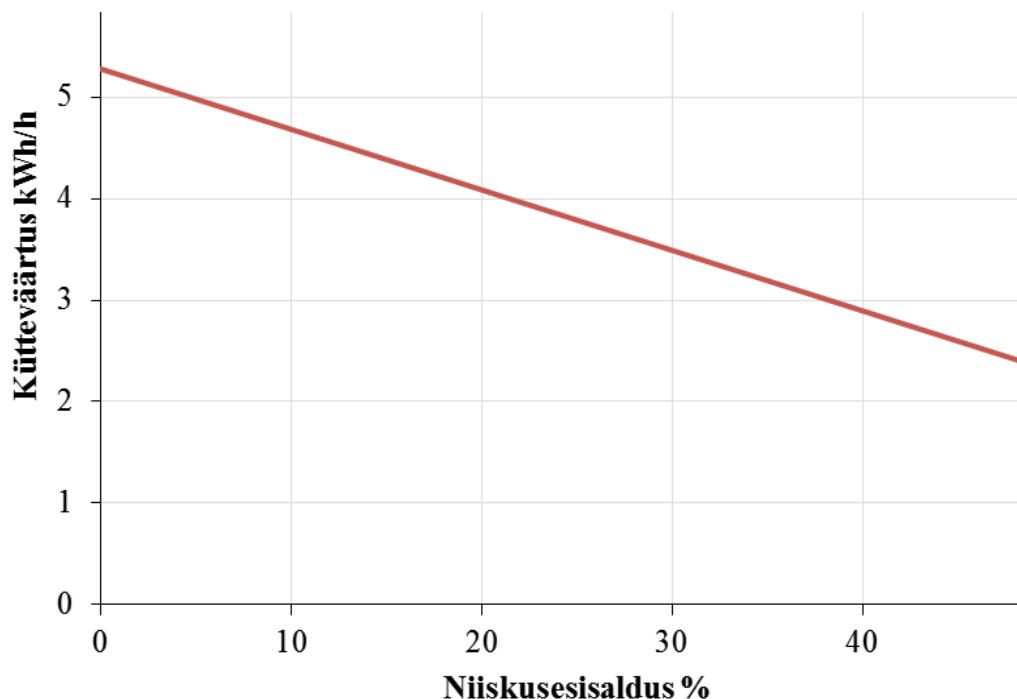
Energiakasutuses sõltub kasutegur protsessi iseloomust ning jääb alati madalamaks kui 100%. Ühe ja sama protsessi või rakenduse kasutegur oleneb lisaks ka koormusest. Kasutegurit saab ar-

vutada kas võimsuse- või energiapõhiselt. Kütteprotsessi kasutegur saadakse küttesel eralduva soojusenergia jagamisel kütteaines sisalduva energiakogusega.

Soojuskatelde kasutegurid on heal juhul 80 – 90%, mis tähendab, et küttes sisalduvast soojusest 10 – 20% moodustab soojuskadu. See eraldub heitgaaside soojusena või kandub läbi katla seinte ümbritsevasse keskkonda. Sisepõlemismootorite kasutegurid on parimal juhul 40 – 50%, kuid nende puhul oleneb see veel ka mootori koormusest. Madalamatel pööretel on mootori kasutegur parem kui kiirel pöörlemisel.

Energeetiline efektiivsus

Taime- või loomakasvatuse energiatootluse hindamiseks kasutatakse energeetilise efektiivsuse mõistet. Energeetiline efektiivsus on suhtarv, mis saadakse tootes sisalduva energia (soojushulga) jagamisel tootmiseks kasutatud energiaga. Taimekasvatuses peaks eesmärgiks seadma ühest suurema energeetilise efektiivsuse, vastasel juhul



Joonis 1. Kütteväärtuse sõltuvus materjali niiskusesisaldusest kuivaine kütteväärtusel 5,3 kWh/kg

kasutatakse tootmiseks enam energiat kui tootest saadakse. Eriti oluline on see bioenergia tootmisel. Bioküttaineks pole mõtet kasutada taimi, milles sisalduv energiahulk on sama või väiksem kui kuulub nende kasvatamiseks. Taimekasvatustoodete energeetiline efektiivsus ongi üldjuhul ühest suurem, kuid loomakasvatustes jääb see enamasti ühest väiksemaks. Loomakasvatuse puhul on see ka aktsepteeritav, sest tegemist on inimtoiduks kõlbmatu biomassi (heina) muutmise toiduks sobilikku

Tabel 2. Põllumajandustoodangu energeetilisi näitajaid

Põllumajandussaadus	Energeetiline efektiivsus
Teravili	3 – 5
Päideroog	8 – 15
Silo	5 – 8
Piim	0,5 – 1,0
Sealiha	0,4 – 0,9
Broileriliha	0,5 – 1,1

vormi (piimatooted, liha). **Tabelis 2** on toodud tüüpiliste põllumajandussaaduste energeetilise efektiivsuse näitajad.

Eritootlus ja erienergia

Eritootlus on toodangu koguse suhe tootmiseks kulutatud energiasse. Seda näitajat kasutatakse toodete valmistamisele kuluva energiatarbe võrdlevaks hindamiseks. Eritootluse väärtus iseloomustab otseselt tootmise energiavajadust, mille abil saab võrrelda erinevaid tootmisviise. Kui näiteks 3500 kg saagi tootmiseks hektarilt vajati 6000 kWh energiat, siis eritootlus on $3500/6000 \approx 0,6$ kg/kWh ehk 1 kWh energiaga saadakse 0,6 kg saaki.

Erienergia on eritootluse pöördväärtus ja see näitab kui palju vajatakse energiat ühe kilogrammi toote saamiseks. Ülaltoodud näites oleks seega eritootluse väärtus $6000/3500 = 1,7$ kWh/kg. Sama energiakogust vajatakse keskmiselt ühe kilogrammi odra tootmiseks.

Põllumajanduslikud energia- ja heitmeanalüüsid

Energiaanalüüs

Energia on viimasel ajal hakatud põllumajanduses üha enam kasutama. Selle üheks põhjuseks on elanikkonna globaalne juurdekasv, tööjõu liikumine maalt linnadesse ja uute tootmistehnoloogiate kasutuselevõtt. Põllumajanduslik tootmine põhineb tänapäeval suuresti veel fossiilsel energial. Põllumajandusliku tootmise ja selle erinevate tootmisviiside energeetiliseks võrdlemiseks tuleb läbi viia energiaanalüüs ja anda hinnang tootmistsüklile. Mõlemad seostuvad omakorda tootmise ja selleks kasutatavate tehnoloogiate ökoloogilise hindamisega, mis on muutumas üha olulisemaks. Tulenevalt ressursside piiratusest, on ka põllumajanduses seatud eesmärgiks saaduste energiasäästlikum ja jätkusuutlikum tootmine. Energiaanalüüs koosneb sageli järgmistest etappidest:

- Tootmine eristatakse kindlate piiridega, mis

võimaldab tootmisprotsesside sisemise toime jätta arvestamata ning käsitleda vaid tootmistegevuse piire ületavaid energiavoogusid.

- Tootmisprotsessi sisenevaid ja sealt väljutatavaid energiavoogusid kajastatakse vastavate arv näitajate põhjal. Lisaks põhitoodangule võidakse seejuures arvestada ka kõrvalsaaduste energiat.
- Tootmissaadustes sisalduva energia ja tootmiseks kulutatud energia põhjal leitakse toodangu energeetiline efektiivsus.

Oluliseks analüüsiparameetriks on seejuures ühe toodanguühiku kohta kasutatud energiahulk ehk erienergia. Kui soovitakse anda hinnangut tootmistsüklile, siis tuleb arvestada ka tootmisel tekkivaid heitmeid. Olenevalt sellest, kuivõrd põhjalikult soovitakse analüüsi läbi viia, võib tootmistegevuse jaotada vastavateks alamprotsessideks.

Näiteks talus, kus toodetakse ainult teravilja, võib kogu tootmist käsitleda ühtse süsteemina. Sel juhul moodustavad talus kasutatav kütus, elekter ja väetised tootmise sisendenergia voo. Saadav saak aga sisaldab tootmise kasulikku energiat.

Põllumajanduslik energiatarve sõltub mullastikust, ilmastikust ja geograafilisest paiknemisest. Teatud piirkondades (näiteks Kesk- ja Lõuna-Euroopa) pole vilja vaja kuivatada. Kuivatamiseks vajalik energiahulk sõltub teravilja algsest niiskusesisaldusest ja keskkonna temperatuurist. Mullastik mõjutab väga oluliselt maaharimise energiakuulu. Seetõttu tuleb analüüsiks kasutatav meetoodika ja algandmed põhjalikult läbi mõelda. Ka analüüs ise pole alati üheselt sooritatav. Teraviljakasvatuse saadusteks on nii terad kui põhk. Kui põhku ära ei kasutata, ei saa ka põhusaaki tooteks ega kõrvalsaaduseks lugeda.

Heitmete analüüs

Samuti nagu energiaanalüüsiks, kasutatakse ka heitmete või nendega seotud tegevuste keskkonnamõju hindamiseks erinevaid meetodeid ja näitajaid. Kokkuvõtlikult on need allolevad.

Süsinikujalg. See näitaja oli algselt ökoloogilise jalajälje osa, mille all mõisteti tootmisel atmosfääri paisatava süsihappegaasi sidumiseks vajaliku metsa arvutuslikku pindala. Hiljem on sellist süsihappegaasi ekvivalenti hakatud nimetama süsinikujäljeks. Süsinikujälje kohta kasutatakse tegelikult erinevaid määratlusi ja piiranguid ning sellest tingituna võivad saadavad arvutustulemused omavahel suuresti erineda. Süsinikujälje määramise meetoodikast ollakse praegu loomas rahvusvahelist standardit.

Ökoloogiline jalajalg. Ökoloogilise jalajälje all mõistetakse sellist maa ja vee pindala, mis on vajalik tootmisteggevuse kindlustamiseks nii ressursside kui jäätmekäitlusega. Ökoloogilist jalajälge kõrvutatakse biovõimekusega – hinnangulise tootliku maa pindalaga, mille põhjal otsustatakse tegevuse jätkusuutlikkuse üle. Soomel näiteks on biovõime-

kust enam kui vajatakse ressursside ja jäätmekäitluse tagamiseks.

Veejalg. See arvutuslik näitaja koondab endasse kogu tootmisahela toimimiseks vajaliku veetarbe. Veejäljes jaotatakse tarbitav vesi kolme ossa: sine vesi (aurustatav pinna- ja põhjavesi), roheline vesi (aurustatav sademevesi) ja hall vesi (saastatud vesi). Veejälje hindamiseks on olemas vastavad meetoodikad ja juhendid, vt näiteks: <http://www.waterfootprint.org>.

Süsinikdioksiidi ekvivalent

Süsinikdioksiidi ekvivalendi (CO_2 -ekv, CO_2e) abil hinnatakse tootmise mõju atmosfäärile. Kliimasoojenemist põhjustavate heitgaaside toime hindamiseks kasutatakse üldiselt IPCC arvutusmeetoodikat. Selles on toodud ka heitgaaside omavahelise kahjuliku toime erisused, lähtuvalt GWP-koefitsientidest (*Global Warming Potential*). Nende järgi on näiteks 100 aasta perspektiivis metaan 24,5 ja dilämmastikoksiid 320 korda süsihappegaasist kahjulikum kasvuhoonegaas. Biokütuste põlemisel atmosfääri lenduvat süsinikdioksiidi kasvuhoonegaasiks ei peeta, sest kütuste toormeks kasutatavad taimed seovad selle vegetatsiooni käigus uuesti.

Süsinikdioksiidi heitmed

Põlemisel eralduva süsihappegaasi koguse määramisel lähtutakse sellest, et kogu kütuses sisalduv süsinik muutub süsinikdioksiidiks. Kui kütuse koostis on teada, siis saab täpsemad arvutused teha põlemisreaktsiooni keemilisele valemile tuginedes. Ametlikus statistikas kasutatakse heitmemäärade arvutamiseks **tabelis 3** toodud näitajaid.

Samas tabelis on esitatud ka enamkasutatavate kütuste kütteväärtused ja tihedused. Tahkete kütuste puhul tuleb arvestada sellega, et nende mahukaal (koormakaal) on tihedusest märgatavalt väiksem. Gaasiliste kütuste tihedus sõltub aga temperatuurist ja rõhust.

Tabel 3. Kütuste süsihappegaasi heitmemäärad, kütteväärtus ja tihedus

Kütus	CO ₂ heitmemäär g/MJ	Kütteväärtus MJ/kg	Tihedus kg/dm ³
Vedelgaas	65,0	46,2	-
Mootoribensiin	72,9	43,0	0,75
Diiselmootoriõli ja diiselmootor	73,6	42,8	0,82 – 0,84
Kerge kütteeõli	74,1	42,7	0,82 – 0,84
Raske kütteeõli	78,8	41,1	0,9 – 1,0
Maagaas	55,04 kg/m ³	36,0 MJ/m ³	-
Freesturvas	105,9	10,1	-
Puu	109,6	7,5 – 14,0	0,4 – 0,6
Päideroog	100,0	14,6	-
Teravili ja põhk	109,6	13,5	-
Biogaas	56,1 kg/m ³	20,0 MJ/m ³	-

Põllumajanduslik energiatarbimine

Soome põllumajandus tarbis 2010. aastal umbes 10 TWh otsest energiat. See moodustab kogu riigi tarbest ainult 3%. Seega ei mõjuta põllumajandus kuigi oluliselt riigi energiatarvet ega -säästu. Samas on energia kokkuhoiul talu jaoks vägagi konkreetne tähendus. Põllumajanduskuludes on energia osakaal pidevalt suurenenud. Aastal 2000 moodustas see Soome põllumajanduse kogukuludest vaid 5 %. Aastaks 2011 tehtud prognoosi kohaselt oli see tõusnud 11%-ni (**joonis 2**). Kümne viimase aastaga on energia osakaal kahekordistunud ning selle vähenemist pole ette näha. See aga tähendab ühtlasi, et energiaga seotud kulutused kasvavad ka edaspidi ning energia efektiivne kasutamine ja säästmise muutuvad põllumajandustootmises üha olulisemaks.

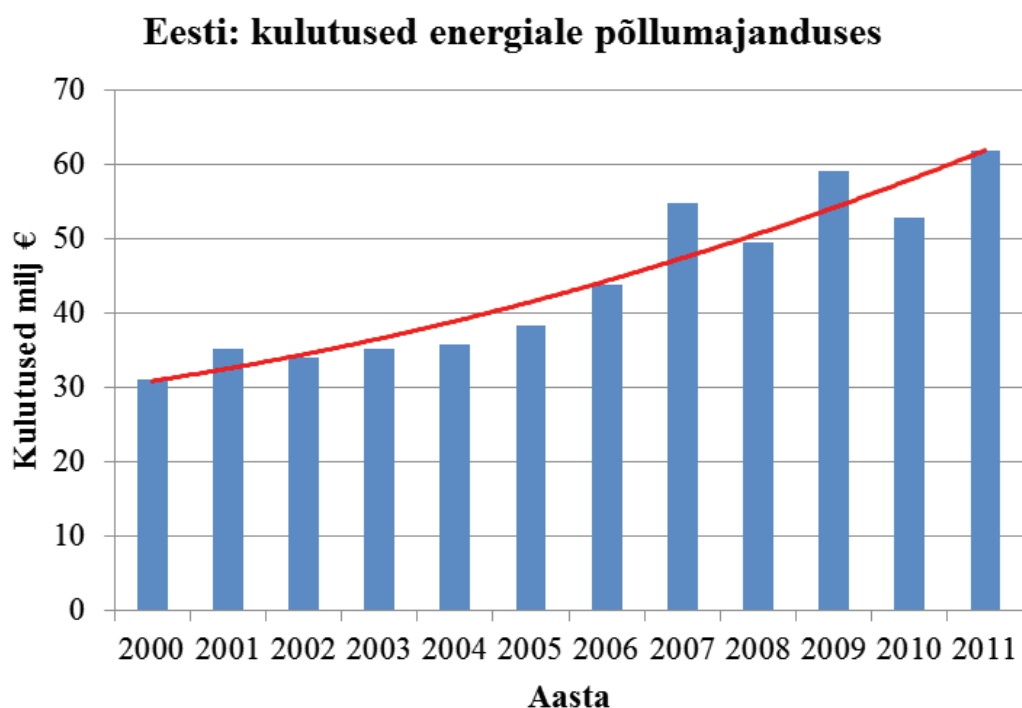
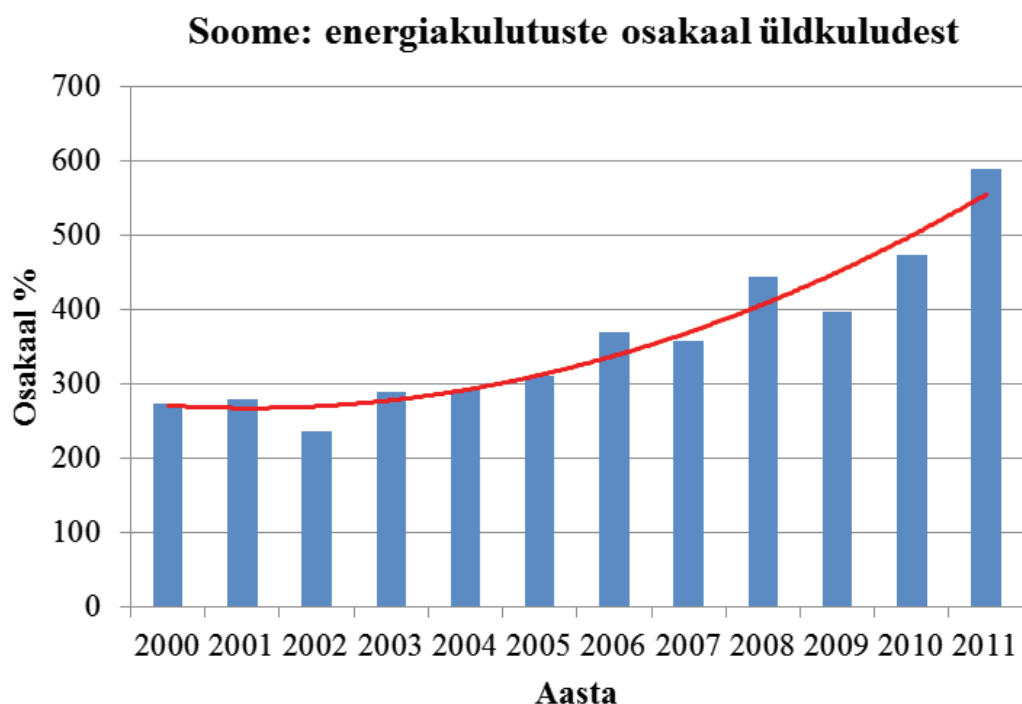
Otsene ja kaudne energiakulu

Põllumajanduses võib kasutatava energiakulu jaotada kaheks: otseks ja kaudseks energiakuluks. Otsene energiakulu tähendab talu ostetava energia hulka. Kaudne tähendab energiakulu, mis on olnud vajalik ostetud seadmete, kemikaalide jms valmis-

tamiseks ning transpordiks. Seda energiat on küll tarbitud talupiiridest väljaspool, kuid rakendatakse talusaaduste tootmiseks. Tüüpiliseks kaudse energia kandjaks on tööstuslikult valmistatud väetised, taimekaitsevahendid, masinad jms. Põllumajandustalu otsene energiasääst vähendab talu energiakulusid, kaudse energia sääst aga mõjutab energiakasutust tööstuses.

Taimakasvatus

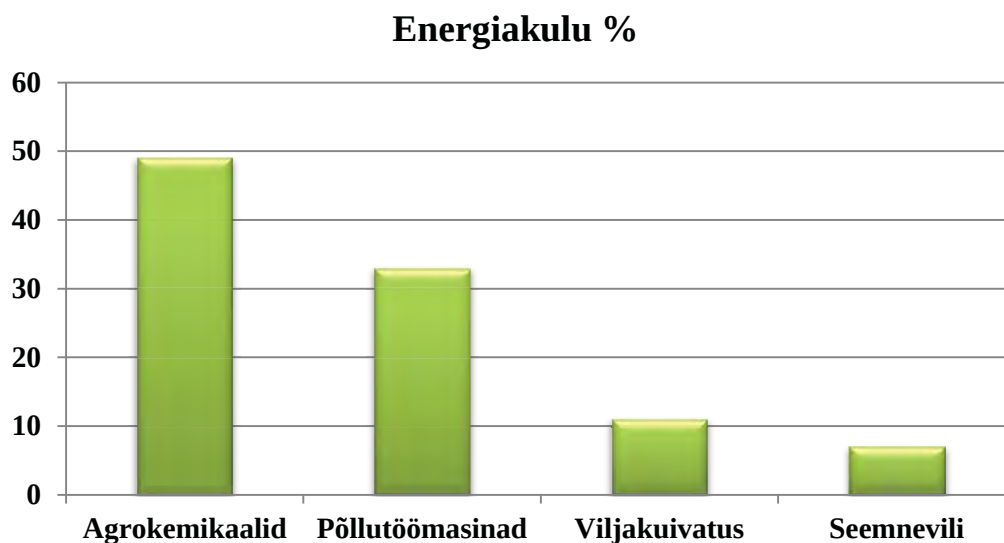
Joonisel 3 on toodud andmed selle kohta, kuidas jaotub energiakasutus odra tootmisel. Suurima osa moodustavad siin kemikaalid, mille alla kuuluvad väetised ja tõrjeained. Neist omakorda suurimaks on väetiste osa. Järgneb põllutöömehhanismide energiakulu, millesse on arvatud ka masinate valmistamisele ja hooldusele kuluva energia hulk. Kolmandal kohal on teravilja kuivatamisele kuluv osa. Kui sügis osutub vihmaseks ja koristatav vilja jääb märjaks, siis kuivatamisele kuluv energia võib olla sama suur kui masinatele kuluv energia. Põllumajandustalu energiakulu saab vähendada põllutööde ja vilja kuivatamise muutmiseega efektiivsemaks.



Joonis 2. Põllumajandusliku energiakulu dünaamika Soomes ja Eestis

Kaudse energia osakaal on põllumajandustalus tähelepanuväärselt suur ning mõelda tasub ka selle efektiivsemale kasutamisele. Eelkõige saab seda

teha väetiste arvelt, suurendades näiteks roheväetamist ja lämmastikku siduvate taimede kasutust.



Joonis 3. Energiakulude jaotuse näide odra kasvatamisel

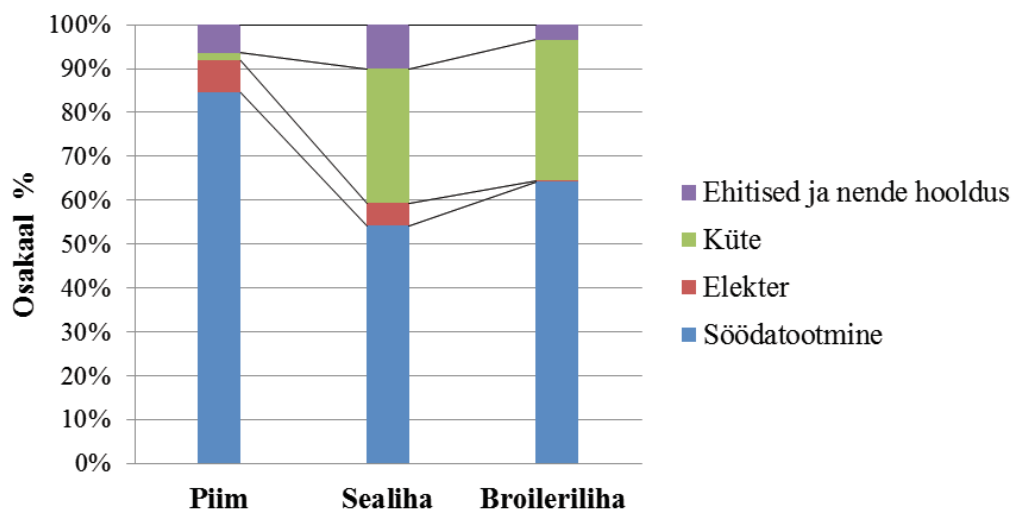
Loomakasvatus

Loomakasvatustes sõltub energia kasutamine sellest, millist saadust toodetakse ja kuidas tootmine on korraldatud. Loomakasvatustes on energiaga seotud kulutused olnud väikesed (võrreldes muude kulutustega) ja seetõttu pole selle tootmisharu energiaefektiivsust ka eriti uuritud.

Joonisel 4 on toodud andmed energiakulu jaotusest sealiha ja piima tootmisel. Sellelt selgub, et elektrienergiat kasutatakse piima tootmisel märgatavalt enam, samas kui sea- ja linnuliha tootmi-

ne nõuab enam energiat kütteks. Piima tootmisel rakendatakse mitmesugust tehnikat, mille käigus hoidmiseks vajatakse samuti energiat.

Joonisel 4 toodud näites on tegu soojustatud laudaga. Külmlaudas (soojustamata laudas) ei ole soojuskaod ventilatsiooniõhu ja ehituslike piirete kaudu olulised. Lehma võib pidada üsnagi jahedates oludes ilma, et see põhjustaks toodangutaseme alanemist või külmastressi. Muud põllumajandusloomad vajavad märgatavalt soojemat keskkonda ja talvisel ajal ka ruumide kütmist.



Joonis 4. Näide piima, sea- ja broileriliha tootmiseks vajalikust energiakulu jaotusest (ehitiste all mõistetakse ehitusmaterjalide valmistamiseks kulunud ja ehitiste remondiks vajalikku energiakulu)

Taimikasvatuse energiakulu mõjutavad järgmised tegurid:

- **Mullastik ja mulla niiskusesisaldus.** Savised mullad on kõvad ja nende harimine on raske. Mulla niiskusesisaldus mõjutab eelkõige saviste põldude harimist. Vesi on saagikuse suurim mõjutaja. Seega sõltub saagikus väga oluliselt ilmastikust (sademete kogusest).
- **Põldude seisund ja drenaaž.** Tihenenud maad on raskem harida ja selle saagikus jääb madalamaks. Ebapiisava drenaaži korral jäävad põldudele märjad alad, mis vähendavad saagikust ja raskendavad põllutöömasinate liikumist.
- **Tootmisviis.** Põllupidaja saab valida erinevaid tootmisviise ja masinaid. Maaharimisel võib näiteks kasutada kas traditsioonilist moodust, minimiseeritud harimist või otsekülvi. Tehtud valik mõjutab otseselt kütusekulu.
- **Masinajuhi (traktoristi) sõiduvii, masinate seisund ja nende häälestamine.** Juht saab oluliselt mõjutada kütusekulu. Mõju oleneb sellest, millist käiku ja mootori pöörlemiskiirust tööde tegemisel kasutatakse. Samuti mõjutavad kütusekulu masinate korrashoid, reguleerimine ja kasutuskord.
- **Mootorite ja masinate energeetiline efektiivsus.** Valides energeetiliselt efektiivsemaid masinaid, on võimalik kütusekulu kokku hoida.
- **Saagi säilitamine.** Kuivatamine on kõige enam levinud saagi säilitamise moodus, mille energiakulu saab hõlpsasti vähendada. Kasutada võib ka mitmeid teisi saagi säilitusviise.
- **Toitainete ringlus ja lämmastikku siduvad taimed.** Nende abil on võimalik vähendada kaudset energiakulu.
- **Saagikus.** Energiakulusid hinnatakse sageli erienergiana pinna- (kWh/ha) või kaaluühiku kohta (kWh/kg). Madalam saagikus suurendab erienergia tarvet.

Loomakasvatuses mõjutavad energiakulu järgmised tegurid:

- **Loomakasvatushoone sisetemperatuur.** Mida kõrgem on sisetemperatuur, seda suuremad on soojuskaod hoone piirete ja ventilatsiooni kaudu.
- **Ilmastik.** Erinevate aastate ilmastik on erinev, mistõttu võivad erineda ka soojuskaod. Külmal talvel kulub energiat märgatavalt enam kui maheda talve korral.
- **Ventilatsiooni efektiivsus.** Head sisekliimat saab tagada intensiivse ventileerimisega, kuid siis suurenevad ka õhuvahetusega kaasnevad soojuskaod. Tagasihoidliku ventileerimisega säästetakse energiat, aga sel juhul kannatab hoone sisekliima.
- **Loomade paiknemise tihedus.** Loomad eritavad soojust ja mida tihedamalt nad paiknevad, seda vähem on vaja täiendavat soojust hoone kütmiseks.
- **Ehitiste soojusisolatsioon.** Mida kõrgemat sisetemperatuuri vajatakse, seda olulisem roll energia kokkuhoius on isolatsioonikihi paksusel.
- **Söötmisviis.** Kuivsöötmisel, märgsöötmisel jm söötmisviiside korral kulub erinev kogus energiat.
- **Sööda tootmine.** Kasutatav sööt ja selle hankimise (tootmise) viis võivad mõjutada energiatarvet. Sööt võib olla toodetud talus või suures osas mujalt sisse ostetud.
- **Sõnnikukoristuse viis.** Energiatarvet mõjutab see, kas kasutatakse kuiv- või vedelsõnniku süsteeme.
- **Loomakasvatusseadmed.** Piima jahutamine, seadmete paiknemine ja soojuse regeneratsioon mõjutavad energiakulu.
- **Tootmisviis ja oskused.** Talunik saab rakendatavat tootmistehnoloogiat valida ja selle kaudu mõjutada ka energiatarvet. Nii näiteks saab piima toota kas külmas vabalaudas või soojas lõaspidamisega laudas, millel on erinev energiatarve. Sama kehtib erinevate söödajaotamise ja sõnnikukoristuse tehnoloogiate kohta.



Energiat aitavad põllumajanduses säästa muuhulgas tootmise kõrvaldaaduste kasutamine, avarad põllud ja ...



... head teeolud (fotod: Väino Poikalainen)

ENERGIAKASUTUSE SEIRE PÕLLUMAJANDUSTALUS

Jukka Ahokas, Winfried Schäfer



Foto: Väino Poikalainen



*Kantava mõõtesüsteemi rakendamine C. R. Jakobsoni talumuuseumi laudaõhu temperatuuriseireks
(foto: Väino Poikalainen)*

Energiakasutuse analüüs

Jukka Ahokas, Winfried Schäfer

Energiakasutuse analüüs põhineb põllumajandustalu energiakulude kaardistamisel. Analüüsi sooritatakse kahel moel. Üldanalüüsi korral vaadeldakse vaid tallu ostetava energia kogust ja talust välja müüdavates toodetes sisalduvat energiat. Nende põhjal saab arvutada näiteks energiakulu pindalaühiku ja loomühiku kohta või ühe kilogrammi toote valmistamiseks. Seda lähene mist nimetatakse ”*Top-Down*” (ülalt alla) analüüsiks, sest lähteandmetena kasutatakse üldkulusid ja üldiseid toodangumahte.

Kui soovitakse täpsemaid andmeid tootmisest energiakulu jaotumisest, siis kaardistatakse iga seadme või operatsiooni kulu eraldi ja viiakse läbi detailne analüüs. Niisuguse lähenemise kohta kasutatakse nimetust ”*Bottom-Up*” (alt-üles) analüüs, sest kogu tooteahela energiakulu saadakse osakulude liitmisega. Nende kahe analüüsi võrdlemisel selgub, kas terviktalus seires on midagi jäänud arvestamata või ületavad teatud energiakulud eeldatava taseme. Juhul kui detailse analüüsi kulud on üldanalüüsil saadust märgatavalt madalamad, on detailsel analüüsil mõni oluline kuluartikkel jäänud tähelepanuta.

Mõlema analüüsi tulemusi tuleb võrrelda teadaolevate keskmiste kuludega. Siis õnnestub välja selgitada talupidamises energiat raiskavad tegevused. Kahjuks pole teadaolevad energiakulu keskmisi väärtusi kajastavad andmed sageli kuigi usaldatavad. See tuleneb erinevatest arvutusmetoodikatest, kohalikest eripäradest ja ilmastikuoludest. Keskmist energiakulu kajastavaid näitajaid mõjutavad järgmised tegurid:

- Kulude määramise viis. Näiteks, kas masinate ekspluatatsioonil arvestatakse ka hooldust, tarvikuid, remonti, remondikodade elektri- ja soojakulu.
- Toodangunäitajate registreerimise moodus.

Näiteks, kas lihatoodangut arvestatakse elus- või tapakaalus. Teraviljakasvatustes võidakse saaki arvestada kas punkrikaalus või kuivatustjärgses kaalus.

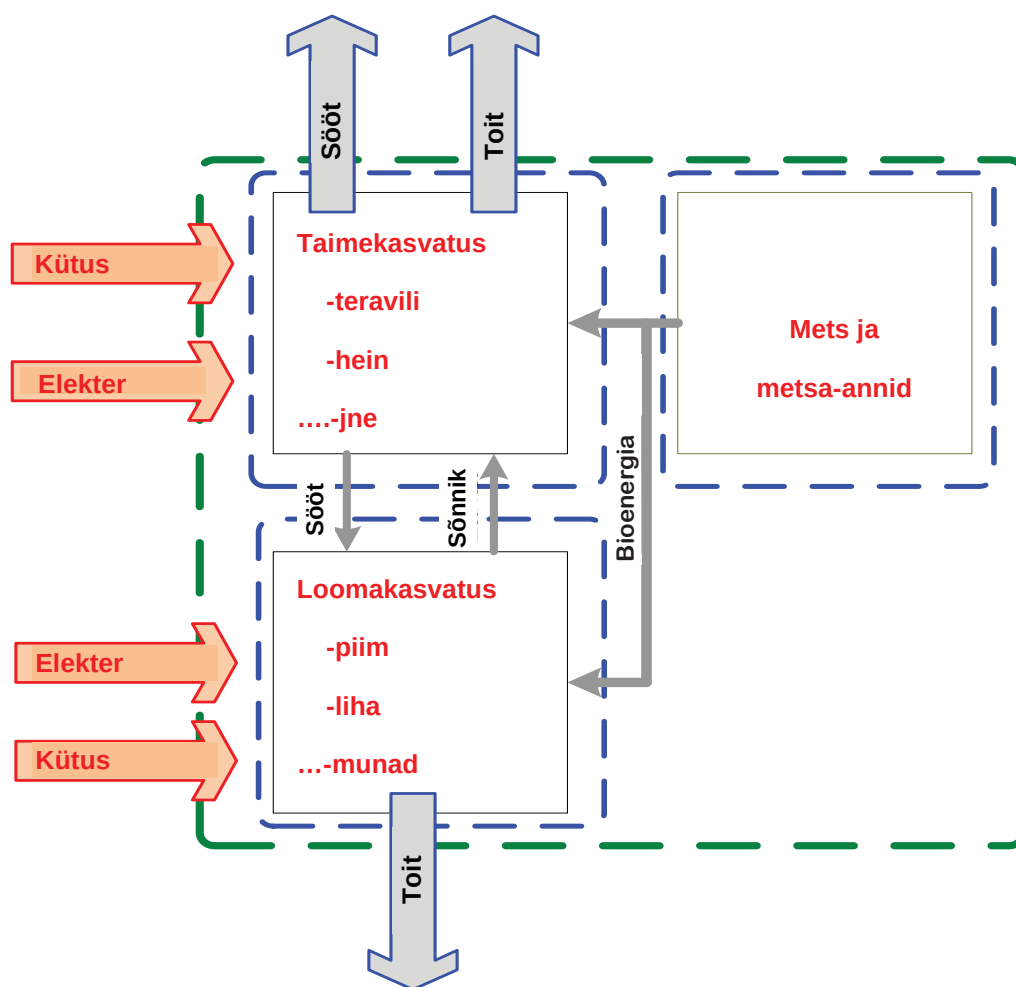
- Kuidas arvestatakse analüüsil kütteenergiat siis, kui kütteaine saadakse omast talust.
- Vahelduva ilmastiku mõju. Kül m ilm suurendab küttevajadust. Palava ilma korral aga suureneb vajadus loomakasvatushoonete ventileerimise järele. Märja saagi korral suureneb kuivatamiseks vajaminev energiahulk. Kuivanud maa põhjustab põllutöömasinate võimsustarbe suurenemist.

Kõrvalteguritest ja erinevatest arvutusmetoodikatest sõltuvalt varieeruvad kirjandusandmed kaunis suurel määral. Kuid need (nn keskmised väärtused) kirjeldavad siiski energiakulu üldist taset ja tootmises registreeritavate andmetega võrdlemisel annavad aimu sellest, kas energiakulu antud talus on sellisest keskmisest suurem või väiksem.

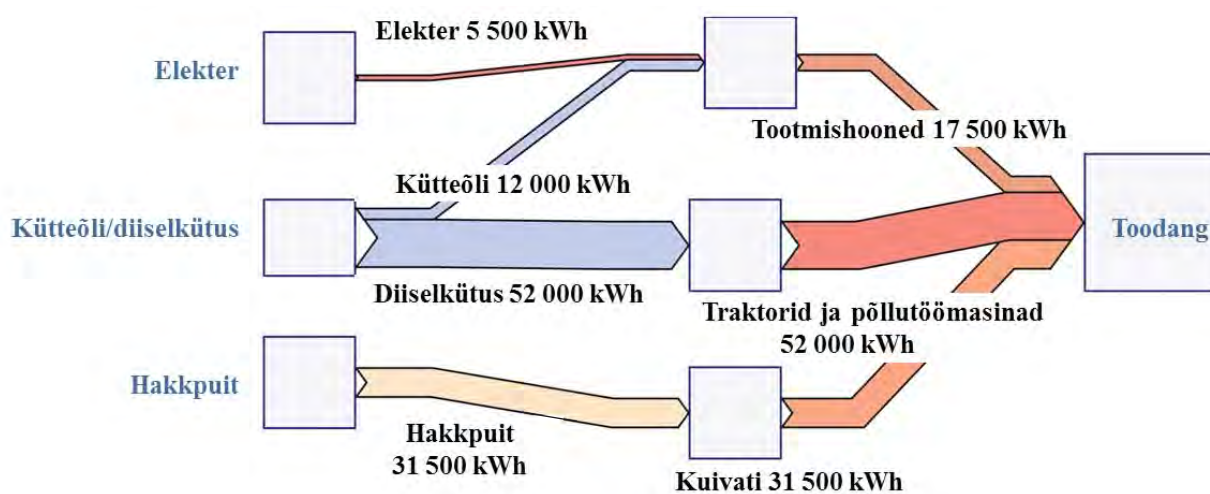
Üldanalüüs (*Top-Down*)

Üldanalüüsil selgitatakse välja tootmiseks kasutatud energiakogused ja talus saadud toodangu maht. **Joonisel 1** on esitatud näide talu energiasisenditest ja tootevoogudest. Neid on lihtne analüüsida siis, kui talus ollakse spetsialiseerunud vaid ühele tootmissuunale ning kogu kasutatav energia ostetakse sisse. Kui talus tegeldakse nii looma- kui taimekasvatusega, tuleb kummagi energiakasutust analüüsida eraldi.

Tabelis 1 toodud näites on energiaanalüüsi rakendatud taimekasvatustalu kohta, kus toodetakse teravilja ning vilja kuivatamiseks kasutatakse osaliselt oma kütet. Antud näide kehtib ka loomakasvatustalu taimekasvatust puudutava



Joonis 1. Põllumajandustalu sisendenergia ja tootevood



Joonis 2. Taimekasvatustalu energiavoogude näide (noolte laius on proportsionaalne energiakogusega)

Tabel 1. *Taimekasvatustootmise otsesed energiakulud*

Näitaja	Kogus	Ühik	Energia kWh
Sisseostetav energia			
Tootmishoonete kütteõli	1200	l	12 000
Hakkpuit tootmishoonete kütteks	0	m ³	0
Kuivati kütteõli	0	l	0
Hakkpuit kuivati kütteks	35	m ³	31 500
Traktorite ja põllutöömasinate kütus	5200	l	52 000
Tootmishoonete elekter	5500	kWh	5500
Kokku	-	-	101 000
Toodang			
Pindala	90	ha	-
Müüdud saak	320 000	kg	-
Energiakulu			
Kütteõli ja kütus	6400	l	64 000
Hakkpuit	35	m ³	31 500
Elekter	5500	kWh	5500
Kokku	-	-	101 000
Energia erikulu			
Masinate kütusekulu pinnaühikule	58	l/ha	-
Masinate energiakulu pinnaühikule	578	kWh/ha	-
Masinate energiakulu 1 kg vilja kohta	0,16	kWh/kg	-
Energiakulu kuivatamisel	0,10	kWh/kg	-
Üldenergia kulu pinnaühikule	1122	kWh/ha	-
Üldenergia kulu 1 kg vilja kohta	0,32	kWh/kg	-

osa kohta. Tootmishoonetes kasutatava energia all mõistetakse seejuures kuivati elektrienergiat ning remondi- või hoolduskoja elektri- ja kütteenergia kulu. Eluhooneid pole analüüsis käsitletud.

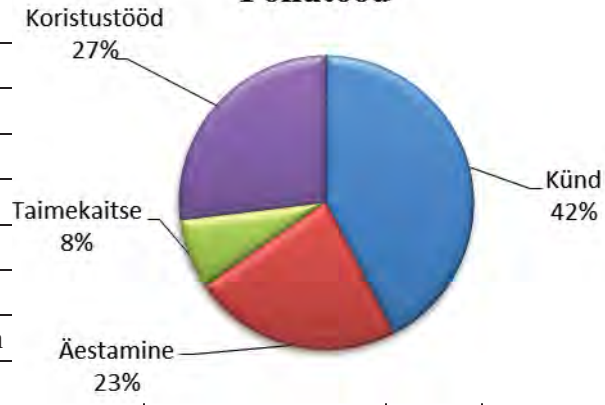
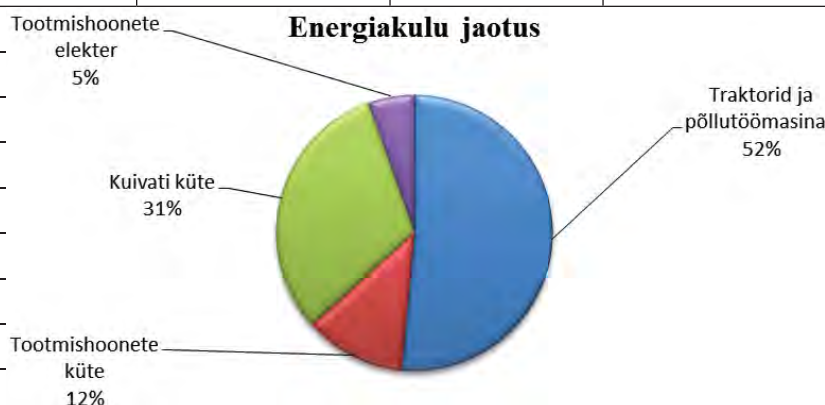
Talu energiakasutust saab hästi piltlikustada skeemi abil, kus sisendenergia ja tootevood on kujutatud vastava paksusega nooltega (**joonis 2**). Antud näites on neid voogusid kujutatud taimekasvatustalu näitel. Loomakasvatustalu puhul oleksid energiavood mitmekesisemad, sest siis tuleks täiendavalt kujutada ka taime- ja loomakasvatuse omavahelisi seoseid.

Detailne analüüs (*Bottom-Up*)

Detailse analüüsiga selgitatakse välja igale tegevusele või tööetapile kuluv energia. Nende summeerimisel saadakse ülevaade tootmises kuluvast energiast. Detailse analüüsi abil saab hinnata nii talu üldist kui ka mingi tootmisloigu või taimeliigi energiakasutust.

Tabelis 2 on esitatud detailse analüüsi näide. Üldanalüüsiga võrreldes on selles põllutööd jaotatud etappideks ja välja toodud, millistele neist kulub enam energiat. Kokkuhoiu planeerimist tuleks alustada just kõige energiamahukamate osadest.

Tabel 2. EXCELi tabelarvutuse abil sooritatud detailse energiakulu analüüsi näide

	Üks liiter kütteõli =	10 kWh			
	1 m ³ hakkpuitu =	900 kWh ~25%	niiskusesisaldusel		
Energiakulu					
Künd	2200	l	Põllutööd 		
Äestamine	1200	l			
Taimekaitse	400	l			
Koristustööd	1400	l			
Tootmishoonete kütteõli	1200	l			
Tootmishoonete hakkpuit	0	m ³			
Kuivati kütteõli	0	l			
Kuivati hakkpuit	35	m ³			
Tootmishoonete elekter	5500	kWh			
Toodang					
Pindala	90	ha			
Müüdud saak	320000	kg			
Kulu			Energia erikulu		
Traktorid ja põllutöömasinad	5200	l	l/ha	0,02	l/kg
Traktorid ja põllutöömasinad	52000	kWh	kWh/ha	0,16	kWh/kg
Tootmishoonete küte	12000	kWh	kWh/ha	0,04	kWh/kg
Kuivati küte	31500	kWh	kWh/ha	0,10	kWh/kg
Tootmishoonete elekter	5500	kWh	kWh/ha	0,02	kWh/kg
Kokku	101000	kWh	kWh/ha	0,32	kWh/kg
	Energiakulu jaotus 				

Energiakasutuse võrdlus

Energiakulu analüüsil on oluline kulude võrdlemine mingite baasandmetega. Võrdlemisel tuleb arvestada sellega, et nii baasandmeid kui oma talus registreeritud andmeid mõjutavad ilmastiku ja tootmisolude vaheldumine. Lisaks võrdlemi-

sele tasub alati pidada silmas ka oma talus toimuvaid pikaajalisi muutusi.

Tabelis 3 ja 4 on toodud vastavad näited taimekasvatuse ja loomakasvatuse energiakuludest. Kütteõli ja diiselkütuse kütteväärtus on 43 MJ/kg. Kütuse tihedus muutub suve- ja talveperioodil vahemikus 0,82 – 0,84 kg/l. Kui ti-

Tabel 3. Taimekasvatustes kulutatav otsene ja kaudne energia (silo, päideroo, suhkrupeedi ja kartuli saagikus arvatud 14% niiskusesisalduse juures)

Taimekasvatussaadus	Otsene energia		Kaudne energia		Üldenergia	
	kWh/ha	kWh/kg	kWh/ha	kWh/kg	kWh/ha	kWh/kg
Oder 3900 kg/ha	950	0,25	2900	0,7	3850	0,95
Nisu 4200 kg/ha	1100	0,3	3600	0,9	4700	1,2
Silo 5300 kg/ha	320	0,04	3800	0,5	4120	0,54
Raps 1500 kg/ha	860	0,6	3000	2,0	3860	2,6
Päideroog 5100 kg/ha	250	0,04	2300	0,4	2550	0,44
Suhkrupeet 7700 kg/ha	1000	0,03	4800	0,1	5800	0,13
Kartul 4900 kg/ha	1000	0,05	5400	0,2	6400	0,25

heduse väärtuseks võtta 0,83 kg/l, siis sisaldub kütuse ühes liitris 36 MJ ehk ~10 kWh soojus-energiat. Seega, jagades kütuse energiasisalduse kilovatt-tundides kümnega, saame samale energiasisaldusele vastavad kütuse kogused liitrites. Korrutades aga kütuseliitrid kümnega, saame antud kütusekogusele vastava energiahulga kilovatt-tundides.

Tabelis 3 esitatud otsene energiakulu tähendab taimekasvatuse vajadusteks kulutatud kütust

ja elektrit. Kaudsete energiakuludena lisanduvad sellele veel väetised, taimekaitsevahendid, masinate ettevalmistamine ja hooldus.

Loomakasvatustoodete erienergia on toodud tabelis 4, kusjuures üldises energiakulus sisalduvad ka söödatootmise, ehitiste ja masinate energia¹.

¹ Smil V, 2008. Energy in nature and society - general energetic of complex systems. MIT Press, Cambridge, Massachusetts. 512 pp.

Tabel 4. Otsene ja kaudne energiakulu ühe kilogrammi loomakasvatustoodete kohta

Toodang	Otsene energiakulu kWh/kg	Üldine energiakulu kWh/kg
Broileriliha	0,5 – 0,7	7 – 10
Sealiha	1 – 2	7 – 19
Loomaliha	–	22 – 28
Piim	0,1 – 0,3	1,4 – 1,9

Energiaanalüüs:

- Üldanalüüsi puhul lähtutakse kogu talus tootmiseks kasutatud energiakogustest ja müüitud toodetes sisalduvast koguenergiast.
- Kui soovitakse selgitada, kuidas energia tootmisprotsess etappide vahel jaguneb, tuleb läbi viia detailne analüüs.
- Talu energiaanalüüsi tulemusi tuleks võrrelda teiste talude vastavate analüüsiandmetega. Liiga väike energiakulu viitab sageli sellele, et mingi faktor on jäänud analüüsis kajastamata. Ülemäärane suur kulu aga tähendab raiskamist ja selle põhjused tuleks välja selgitada.

Energiakulu seire ja võrdlus

Jukka Ahokas

Talu energiaanalüüsiks on vajalik käivitada vastav seire. Selle abil selgub, milleks ja milliseid energiavoogusid kasutatakse. Üldanalüüsi abil saab tervikülevaate energiakasutusest mingil perioodil, kui arvesse võetakse ka laovarud.

Kui soovitakse täpsemat ülevaadet energiakasutusest, siis tuleb sooritada detailne analüüs. Selleks vajatakse energiakulude konkreetset mõõtmist tootmise erinevates lõikudes ja etappides. Sageli liidetakse neile ka eluruumide kütte- ja elektritarbimine.

Kaunis tihti võidakse talus teha teatud tüüpi tellimustöid. Siis tuleb kulude poolel arvestada ka nendeks kasutatud energiat. Objektiivseks analüüsiks peaks aga tellimustöid käsitlema eraldi, mis tähendab omaette mõõtesüsteemide või kütusemahutite rakendamist ning vastavate tegevuste registreerimist. Eriti siis, kui eesmärgiks seatakse kulude täpne arvestamine, on individuaalsete mõõteseadmete ja vastava seire kasutamine hädavajalik.

Probleemiks võib kujuneda täiendavate investeeringute vajadus mõõtesüsteemide hankimiseks ja lisatöö raamatupidamise korraldamisel. Sel juhul peaks täiendavast seire juurutamisest saadav energiasääst katma tehtavad kulutused.

Traktorid ja põllutöomasinad

Energiakulu arvestus

Energiakulu seirel registreeritakse kõik masinatega sooritatud tööd ja tankimised. Iga tankimisega seoses märgitakse üles kasutatud kütusekogusega sooritatud tööd ja hinnang nende kohta. See võimaldab usaldusväärselt eristada suurt kütusekulu nõudvaid tegevusi. Kui soovitakse eraldi registreerida väiksemat kütusekulu nõudvaid tegevusi, siis tuleb traktorit tankida iga tööetapi järgselt, kuigi kütusepaagis olev jääk võimaldaks edasi töötada. Energiakulu arvutamiseks on mugav rakendada arvutipõhist tabelarvutust, sisestades andmed sellesse kindla süsteemi kohaselt (**tabel 5**).

Kütusekulu mõõteseadmed

Uuemad traktorid on varustatud kütusekulu indikaatoritega, mis näitavad kulu kas liitrites tunnis (l/h) või liitrites hektari kohta (l/ha). Neist viimane (l/ha) sobib hästi kütusekulule samasuguse hinnangu andmiseks, nagu autode puhulgi (liitrit 100 km kohta). Tunnikulu kajastab eelkõige mootori kasutatud võimsust, mitte tehtud tööd. Jagades tunnis kulunud kütusekoguse

Tabel 5. Põllutööde energiakulu seiretabeli näide

Traktori või põllutöömšina mark			Belarus MTZ 820			
Kuupäev	Kellaaeg	Tunnimõõdiku näit	Töö iseloom	Koht	Pindala (ha)	Tankimine (l)
14.5.2012	8	5678	äestamine	soopõld	9	44
15.5.2012	6	5688	äestamine	niit	11	88
16.5.2012	14	5701	külv	soopõld	9	60

töövilkusega (hektarit tunnis – ha/h), saadakse pinnaühiku kohta kulutatud kütuse kogus.

Vanemate traktorite jaoks on saadaval kütusekulu mõõteseadmed, millistest lihtsamad põhinevad kütusepaagi täiteastme indikaatori pinge mõõtmisel. Täpsemates mõõteseadmetes määratakse otsest kütusekulu vastavate vooluhulga

mõõturitega. Kütusekulu mõõtmine on otstarbekas siduda GPS-seadmega, mis võimaldab määrata ka asukoha. **Joonisel 3** on toodud näide, kuidas GPS-seadme abil saab jälgida traktori liikumise trajektoori.

Põllumajanduslikuks otstarbeks pole praegu-seks veel niisuguseid eriseadmeid saadaval, kuid



Joonis 3. Näide GPSi poolt registreeritud traktori liikumistrajektoorist

loota on nende peatset müügiletulekut ning siis saab automaatselt või poolautomaatselt korraga registreerida sooritata vaid töid, nende tulemusi ja kütusekulu.

Tabel 6. Tüüpilised kütusekulu vahemikud erinevate põllumajandustööde korral

Töö	Kütusekulu l/ha
Äestamine	5 – 10
Kombikülvikuga külv	4 – 8
Viljakoristus	9 – 15
Künd	15 – 25
Heina niitmine	4 – 6
Järelveetav haagis	12 – 18
Pallitamine	4 – 8
Transport	20 – 50 l/100 km

Kütusekulude võrdlus

Tabelis 6 on esitatud tüüpilised kütusekulu vahemikud erinevate põllumajandustööde kohta. Võrreldes oma andmeid tabelis esitatud väärtustega, on võimalik hinnata seda, kas kütusekulu saab pidada normaalseks, sellest suuremaks või väiksemaks.

Kütteseadmed

Talus kasutatavad kütteseadmed tarbivad kas kütteõli, elektrit, gaasi või biokütust. Küttekolletes põletatava kütte kulu seireks on vaja registreerida tarbitud küttematerjali kogused. Kütteõli puhul võib kuivati kütusepõletid varustada vastavate kulumõõturitega (**joonis 4**). Kulumõõtur



Joonis 4. Kulumõõturiga varustatud viljakuivati kütteõli põleti

võimaldab väga täpset kütteõli kulu seiret ning siis on vilja kuivatamisel võimalik selle kulu registreerida näiteks ka erinevate viljapartiide kaupa.

Hakkpuidul või turbal töötavate katelde ener-

giakulu tuleb hinnata kasutatud kütuse mahtude järgi. Mahuühiku kütteväärtus oleneb suuresti mahukaalust (kg/m^3) ja niiskusesisaldusest (**joonis 5**). Kütuse mahukaalu mõjutab osade suurus, hakkpuidul näiteks peenestusaste.

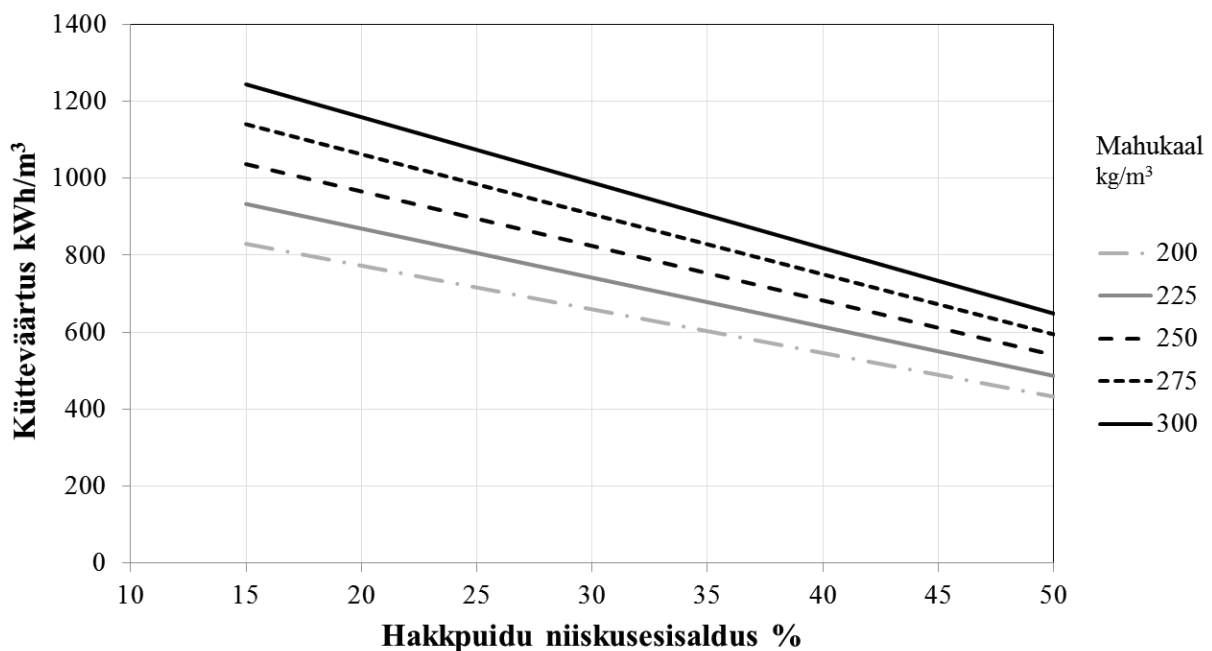
Teravilja kuivatamine

Teravilja kuivatamiseks kuluva energia kogus sõltub suurel määral niiskusesisaldusest. Keskmiselt kulub viljast ühe kilogrammi vee väljaaurustamiseks umbes 1,5 dl kütteõli, millele vastab 1,5 kWh energiat. **Joonisel 6** on toodud ühe tonni teravilja kuivatamiseks vajalik energiakogus erinevate niiskusesisalduste korral.

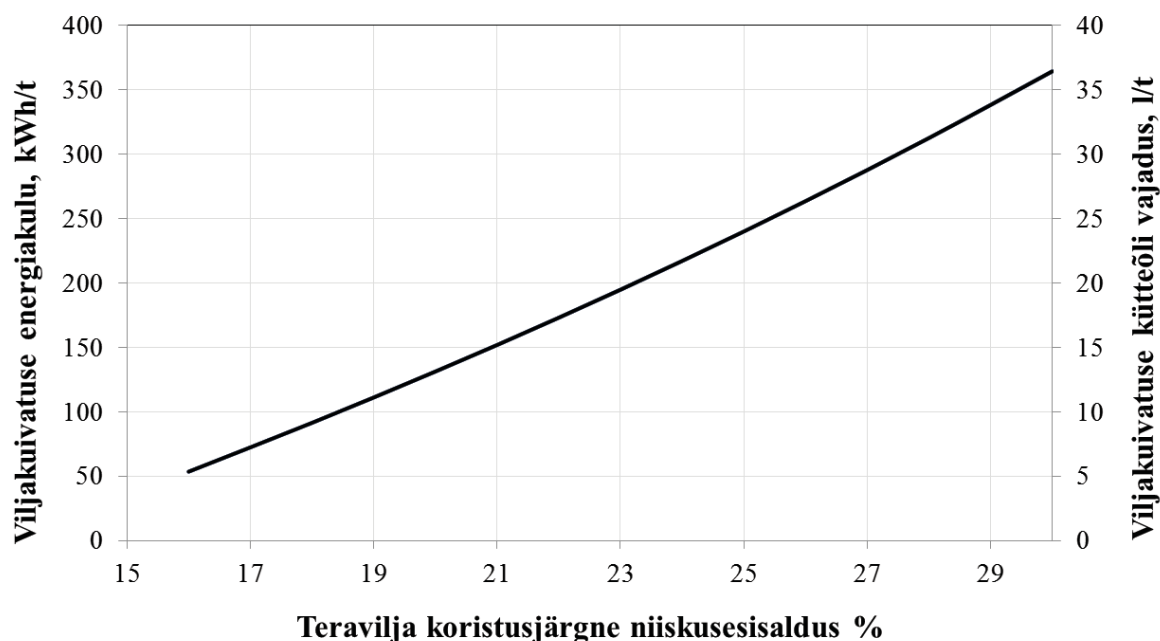
Lisaks küttele vajatakse vilja kuivatamisel ka elektrienergiat, mis moodustab kütteenergiast umbes 10%.

Ehitised

Tabelis 7 on esitatud erinevate ehitiste tüüpiline energiakulu. Seda mõjutavad ilmastikutin-gimused ja loomakasvatushoonetes ka loomade paiknemise tihedus, sisetemperatuur, loomade



Joonis 5. Hakkpuidu niiskusesisalduse ja mahukaalu (200 – 300 kg/m^3) mõju kütteväärtusele



Joonis 6. Energiavajadus ühe tonni teravilja kuivatamiseks sõltuvalt algsest niiskusesisaldusest

Tabel 7. Ehitiste tüüpiline energiakulu aastas

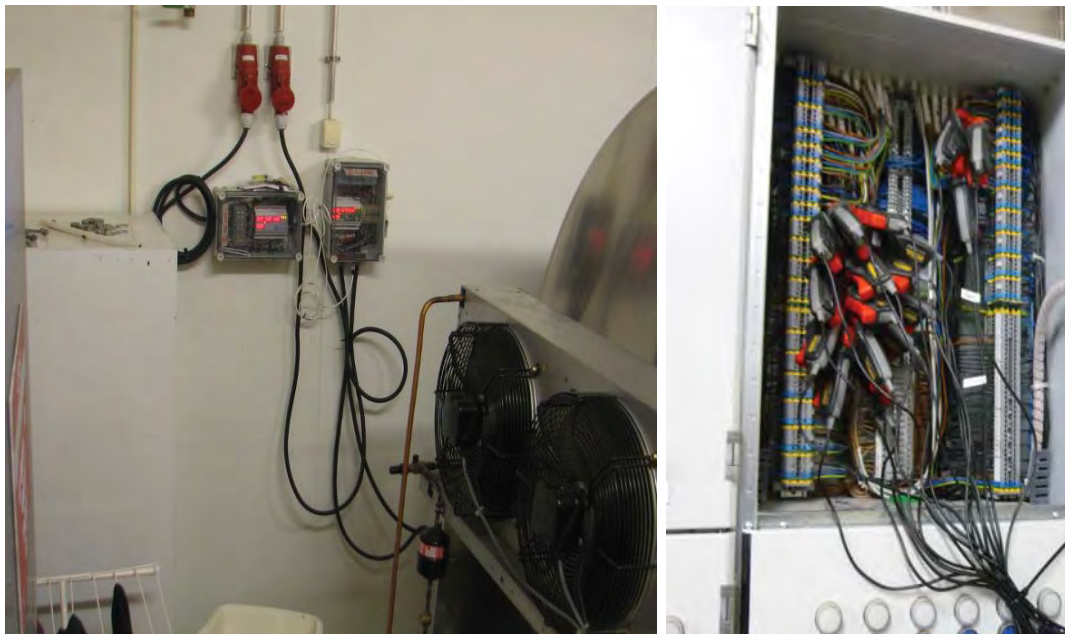
Ehitise tüüp	Kulu
Hooldus- ja remondiruumid	40 – 70 kWh/(aasta·m ²)
Uus elumaja	170 – 270 kWh/(aasta·m ²)
Vana elumaja	240 – 380 kWh/(aasta·m ²)
Soe laut	200 – 500 kWh/(looma-aasta)
Nuumasigala	200 – 500 kWh/(looma-aasta)
Broilerite kanala	1 – 4 kWh/(looma-aasta)

suurus, ehitiste termiline isoleeritus ning ventilatsiooni õhuvahetuse määr. Toodud andmed on arvutuslikud ja tulenevad põllumajanduslikele ehitistele ning nende ventilatsioonimääradele kehtestatud nõuetest. Nuumikuid ja broilereid kasvatatakse üldiselt partiidena, kuid tabelis toodud arvud on pideva tootmisprotsessi kohta saadud aasta keskmised väärtused.

Elektriseadmed

Elektriseadmete energiakulu saab mõõta kas voolumõõtjatega või spetsiaalsete elektrikulu mõõtesüsteemidega, mis registreerivad energiakulu arvutamiseks vajalikku pinget ja voolu. Stat-

sionaarselt elektrivõrguga ühendatud masinate ja seadmete energiakulu mõõtmiseks vajatakse voolutrafosid, mis monteeritakse iga toitejuhtme ümber. Nimetatud töid võib teha vaid volitatud elektrimontöör. Lisaks voolule vajatakse elektrikulu arvutamiseks ka iga faasi pinge väärtust. Kuna pinge püsib peaaegu konstantsena, siis vähemat täpsust nõudvatel juhtudel piisab ainult voolutugevuse mõõtmistest. Juhul kui seadmed ühendatakse elektrivõrku pistiku abil, saab kasutada kantavaid voolumõõtjaid, mis ühendatakse seadme ja pistiku vahele. Näide elektrienergia mõõtmiseks vajalikest ühendustest on toodud **joonisel 7**.



Joonis 7. Elektrienergia mõõtmiseks vajalikud ühendused

Loomakasvatushoonete seadmed²

Ventilaatorid

Ventilaatorite tööks vajalikku elektrilist võimsust saab arvutada ventileerimiseks kasutatava õhukoguse q_v , rõhulangu Δp ja ventilaatori kasuteguri η abil (**valem 1**).

$$P = \frac{q_v \Delta p}{\eta} \quad (1)$$

Ehitiste puhul jääb rõhulang vahemikku 10 – 40 Pa. Sageli on selle väärtuseks 30 Pa. Sõltuvalt rakendusviisist tekitavad ventilaatorid hoonesse just nii suure ala- või ülerõhu. Ventilaatorite kasutegur jääb vahemikku 40 – 60 %. **Joonisel 8** on toodud näide ventilaatorite aastasest elektrienergia kulust, sõltuvalt vajalikust õhuvahetuse määra-st kinnises hoones. Soovituslikud õhuva-

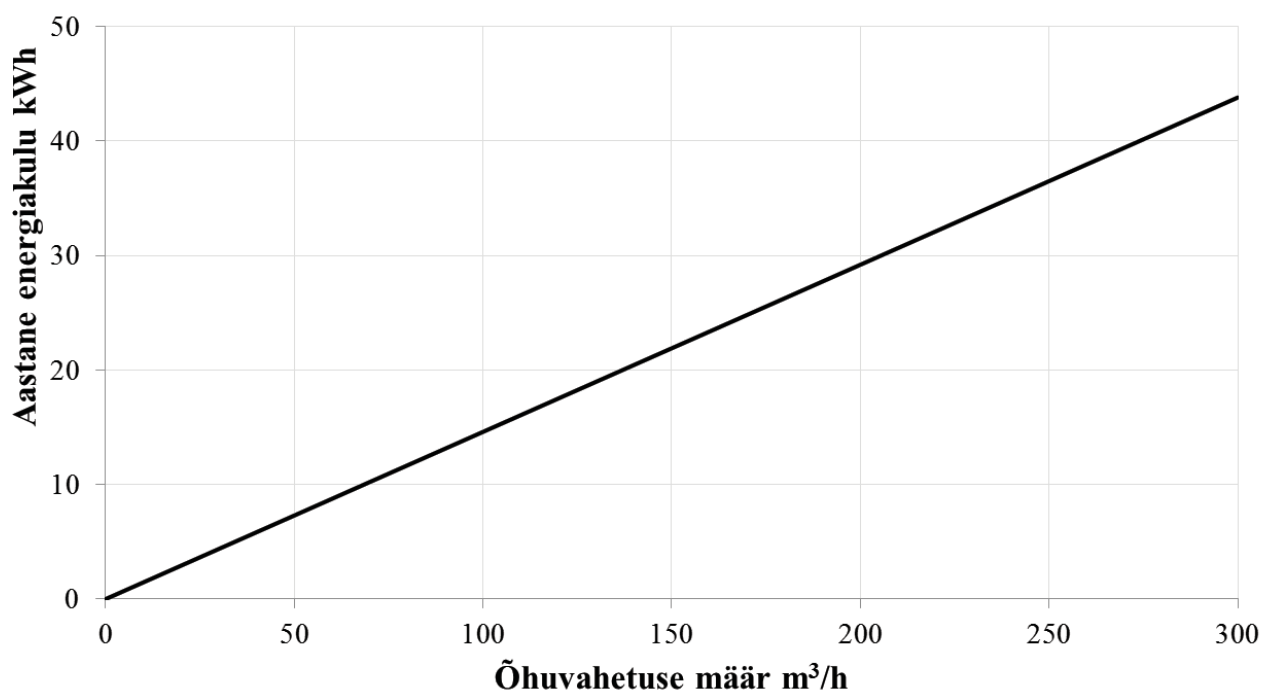
hetuse määrad on lehmadel 55 – 360 m³/h, nuumikutel 10 – 100 m³/h ja broileritel 0,3 – 5 m³/h. Talvel ventileeritakse loomakasvatushooneid üldiselt vähem (minimaalne õhuvahetus) ning suveti enam (maksimaalne õhuvahetus). Lisaks sellele mõjutab nõutavat õhuvahetuse intensiivsust ka looma kaal. Lihaloomade kasvamise käigus tuleb suurendada ka õhuvahetust.

Soojustamata ja osaliselt soojustatud vabapidamisega lautades toimib loomulik ventilatsioon. Siis vajatakse energiat eelkõige õhulukkide ja seinapilu suuruse reguleerimiseks, mille energiakulu on tühine.

Kui näiteks 120-se lüpsikarja ühe lehma õhuvahetustarbeks võtta 150 m³/h, siis ventilaatorite aastane energiavajadus ühe lehma kohta on 22 kWh (vt joonis 8). Kogu karjale kulub 2600 kWh elektrienergiat aastas. Lõuna-Rootsi karjalautade ventilatsiooniks vajalik elektrienergia kulu on osutunud sellest siiski suuremaks, ulatudes 70 – 80 kWh/(looma-aasta). Rootsis kehtib ka Soome omast kõrgem maksimaalse õhuvahetuse määr.

Ventilatsiooni energiavajadus erinevate koduloomaliikide kaupa on toodud **tabelis 8**.

² Loomakasvatuses kasutatavate masinate energiakulu andmed pärinevad järgmistest allikatest: Hörndahl, T. 2007. Energiförbrukning i jordbrukets driftsbyggnader – en kartläggning av 16 gårdar med olika driftsinriktning. Rapport 145. Sveriges lantbruksuniversitet Institution för jordbrukets biosystem och teknologi (JBT) Posio M. Kotieläintilojen energiankulutus. Pro Gradu – Tutkielma. Helsingin Yliopisto – Agroteknologian laitos



Joonis 8. Õhuvahetust tagavate ventilaatorite aastane elektrienergia kulu lehma kohta, sõltuvalt õhuvahetuse määrast

Vee pumpamine ja soojendamine

Vee pumpamiseks vajaliku põhienergia saab samuti arvutada valemi (1) põhjal. Siis tuleb rõhulangu asemel kasutada imikõrguse ja veevõrgu rõhkude vahet. Vett vajatakse loomade jootmiseks ja pesuks. Sellele kuluva energia vahemikud on esitatud tabelis 9.

Söötmine

Söötmiseks kuluva energia kogustes võib esineda suuri erinevusi sõltuvalt sellest, millist söötmisviisi ja milliseid seadmeid kasutatakse. Näiteks traktori rakendamisel söötmiseks on energiakulu suurem kui elektrimasinate kasutusel samaks otstarbeks. Tabelis 10 on toodud

Tabel 8. Aastane ventilatsioonienergia tarve ühe loomakoha jaoks

Tootmissuund	Ventileerimiseks vajalik energiakulu kWh/(looma-aasta)
Piima tootmine	1 – 160
Sealiha tootmine	18 – 32
Linnukasvatussaaduste tootmine	1,3 – 2,2

Tabel 9. Veekäitluseks vajalik energia

Tootmissuund	Vee pumpamine kWh/(looma-aasta)	Soe pesuvesi kWh/(looma-aasta)
Piima tootmine	14 – 35	100 – 300
Sealiha tootmine	0,5 – 1,0	15 – 20

Tabel 10. Piimalehmade söötmiseks vajalik energiakulu sõltuvalt söödakäitluse viisist

Söötmissviis	Energiakulu kWh/(looma-aasta)
aunasilo + traktor + söödavagun + jõusöödaautomaat	652
aunasilo + traktor + söödavagun + relssjaotur + noorkarja tõstuksöötur	370
tornisilo + relssjaotur + jõusöödaautomaat	160
augusilo + traktor + söödavagun + teraviljasöötur + elektriline koresööda jaotur	480
tornisilo + relssjaotur + elektriline segisti + jõusöödaautomaadid	274

näiteid piimalehmade söötmiseks vajalikust energiakulust. Nuumasigalas vajatakse vedel-söödaga söötmisel keskmiselt 2,3 kWh/(looma-aasta) energiat.

Lüps ja piima jahutamine

Lüpsiks ja piima jahutamiseks vajalik energia on esitatud **tabelis 11**.

Sõnniku koristamine

Sõnniku koristamisel on kasutusel kas vedel- või kuivsõnniku süsteemid, mille energiatarve on erinev (**tabel 12**). Antud tabelis esitatud andmed sõnniku koristamiseks vajaliku energiatarbe kohta kajastavad vaid laudas toimuvat ega sisalda sõnniku veokile laadimisele, transpordile ja laotamisele kuluvat energiat.

Valgustus

Vastavalt Soome maa- ja metsamajanduse ministeeriumi poolt loomakasvatushoonete jaoks kehtestanud normidele, kulub lauda valgustuseks 70–80 kWh ja nuumasigalas valgustuseks umbes 5 kWh elektrienergiat looma kohta aastas. Kõige lihtsam on elektrikulu arvutada elektrilampide hulga ja nende võimsuse põhjal. Korrutades üldvõimsuse kasutusajaga, saadakse hinnang energiatarbe kohta.

Olgu näiteks laudas 30 luminofoorvalgustit, igaüks võimsusega 36 W. Kui kõik lambid sisse lülitada, siis on nende energiatarve $30 \times 36 = 1080$ W. Kui valgustus on ööpäevaringselt sees, siis kulub ööpäevas $1,08(\text{kW}) \times 24(\text{h}) = 25,9$ kWh energiat. Aastane energiavajadus on $356 \times 25,9 = 9460$ kWh. Loo-

Tabel 11. Lüpsiks ja piima jahutamiseks kuluv energia

Seade	Energiakulu kWh/(looma-aasta)
Masinlüps	30 – 80
Robotlüps	180 – 580
Piima jahutamine	80 – 130

Tabel 12. Sõnniku koristamiseks vajalik energiakulu

Tootmissuund	Kuivsõnnik kWh/(looma-aasta)	Vedelsõnnik kWh/(looma-aasta)
Piima tootmine	22 – 40	6 – 46
Sealiha tootmine	5,4	0,5 – 1,8

makasvatushoonete valgustuse energiakulu tüüpilised näitajad on toodud **tabelis 13**.

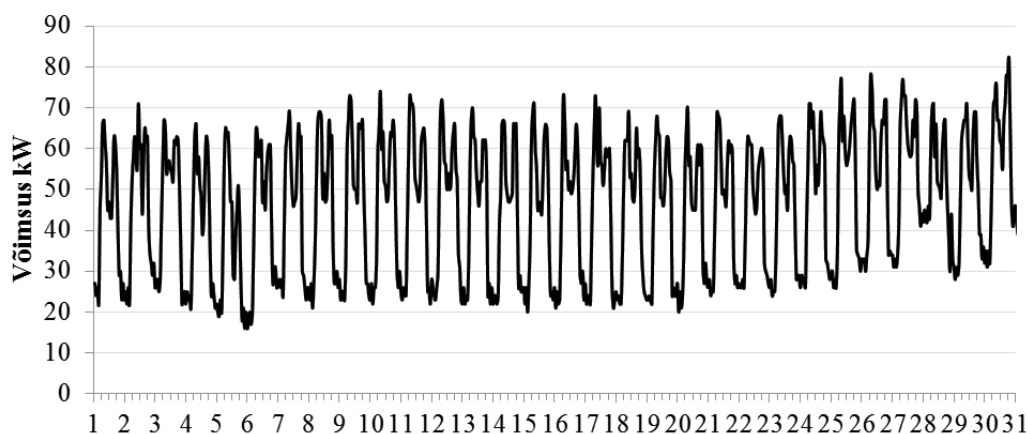
Elektrikulu seire

Elektri turustamisega tegelevad ettevõtted on üle minemas kaugloetavate arvestite kasutamise-

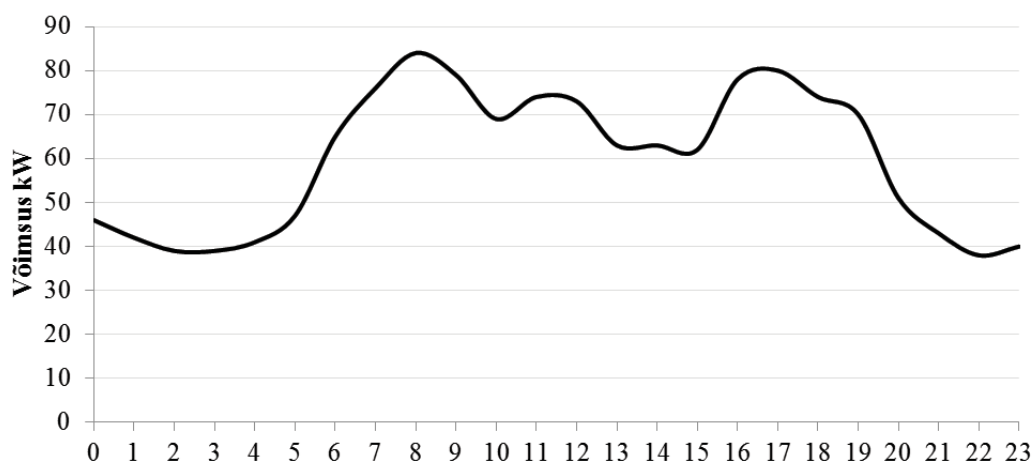
le. See võimaldab elektrikulu seiret ja tarbimise kontrolli teostada peaaegu reaalajas. Sellekohane näide on esitatud **joonisel 9**, kus on toodud elektrikulu kuupäevade ja kellaaegade lõikes. Paigaldades kaugloetavad arvestid tootmisüksustesse, on elektrikulu seiret võimalik automatiseerida.

Tabel 13. Valgustuseks vajalik energiakulu

Tootmissuund	Valgustuseks vajalik energia kWh/(looma-aasta)
Piima tootmine	2 – 230
Sealiha tootmine	0,3 – 6,3
Linnukasvatussaaduste tootmine	0,001 – 2,4



Kuupäev, jaanuar 2012



Kellaaeg, 31. jaanuar 2012

Joonis 9. Seiretalv 2FIN elektrikulu 2012. aasta jaanuaris vastavalt elektrimüüja andmetele

Energiaseire näiteid

Winfried Schäfer

Taimakasvatustalu 5EE

Talu pindala on umbes 360 ha ning seal tootetakse teravilja, rapsi ja kaunvilju. Kuivatis kasutatakse energiaallikana põlevkiviõli. **Tabelis 14** on toodud saagikuse näitajad, **tabelis 15** energiasisendite andmed ning toodangu energiasisaldused. Talu energiavood on graafiliselt esitatud **joonisel 10**.

Seiretalu erienergiakulud on esitatud **tabelis 16**. Talus on väetisi ehk kaudset energiat kasutatud suhteliselt vähe. Saagikuse tase on sellele vaatamata mõõdukas ja talu energiakasutus mõistlikult paigas.

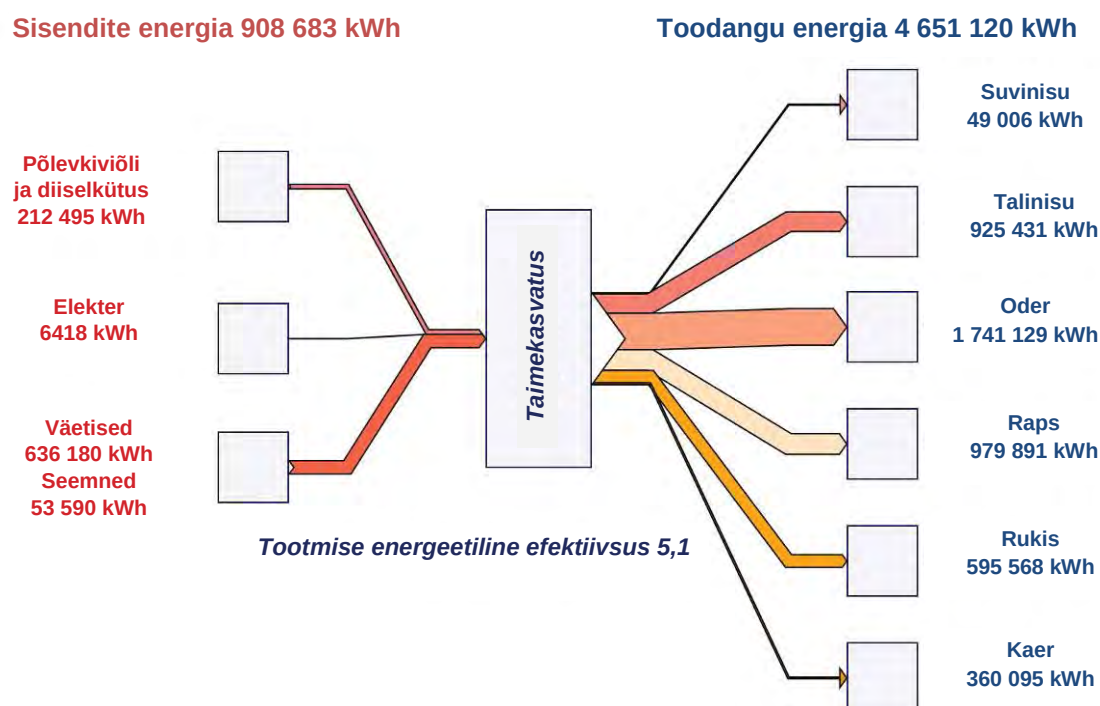
Energiakulu hinnang ja võrdluseks kasutatavate näitajate arvutamine sõltuvad püstitatavast eesmärgist. Üldjuhul tasub kõigepealt keskendu-

Tabel 14. Seiretalu 5EE saagikuse näitajad

Saadused	Pindala ha	Saak t/ha	Kuivainesisaldus %
Suvinisu	18,4	0,7	86
Suvioder	120,1	3,6	86
Suviraps	74,2	1,9	93
Kaer	34,6	2,5	86
Taliniisu	59,0	3,9	86
Rukis	33,1	4,5	86

Tabel 15. Seiretalu 5EE energiasisendite andmed ja toodangu energiasisaldus (KA = kuivainesisaldus)

Sisendid	Kogus	KA %	Energia kWh
Elekter	6418 kWh	-	6418
Diisel	10 899 liitrit	-	108 051
Põlevkiviõli	10 000 kg	-	104 444
Agrokemikaalid			
Lämmastik	41,4 t	-	566 429
Fosfor	5,8 t	-	24 856
Kaalium	16,7 t	-	44 895
Seemned			
Teravili	54,6 t	86	52 151
Raps	0,5 t	93	1439
Kokku	-	-	908 691
Saadused			
Suvinisu	12 137 kg	86	49 006
Suvioder	431 231 kg	86	1 741 129
Suviraps	141 646 kg	93	979 891
Kaer	85 042 kg	86	360 095
Taliniisu	229 905 kg	86	925 431
Rukis	147 957 kg	86	595 568
Kokku	911 125 kg	-	4 651 120



Joonis 10. Seiretalu 5EE energiavood

Tabel 16. Seiretalu 5EE energiakasutus

Energiakulu	kWh/kg	kWh/ha
Üldine energiatarve	0,9	2677
Otsene energiatarve	0,2	645
Kaudne energiatarve	0,7	2032
Diiselkütuse kulu	63 l/ha	626

da suurimale energiakulule ning mõelda sellele, kas seda annab vähendada või asendada. Antud talus põhjustavad suurimat energiakulu lämmastikväetised, mida saab asendada toitaine ringe soodustamise ja kaunviljade kasvatamisega.

Piimakarjatalu 2FIN

Talus on 145 ha maad, millest taimekasvatust kasutab 118 ha. Suurim osa taimekasvatuse toodangust kulutatakse piimakarja (keskmiselt 100 lehma) söödaks. Talus kasutatakse küttena hakkpuitu ja kütteõli. Kuna tegemist on katsetaluga, siis on seal ka biogaasijaam ning mitmeid elu- ja kontoriruumi (kogupindalaga 5517 m²).

Elektrikulu mõõdetakse elektriarvestiga, kütusekulu arvestamine põhineb ostudokumentidel ning muid kulusid arvestatakse tootmisjuhtide poolt antud hinnanguliste näitajate põhjal.

Taimekasvatussaaduste tootmine

Energiakasutust taimekasvatuses esitab **tabel 17**. Taimekasvatuses kasutatakse lämmastikväetiste energiat:

$$200268(\text{kWh})/117,57(\text{ha}) = 1703 \text{ kWh/ha.}$$

Söödavilja ja rüpsi kuivatamiseks kuluv erenergia on:

$$26024(\text{kWh})/128089(\text{kg}) = 0,2 \text{ kWh/kg.}$$

Tabel 17. Seiretalu 2FIN taimekasvatuse sisendite ja toodangu energiakogused

Taimekasvatussaaduste tootmine	Kogused 2010. a	Energiahulk kWh
Sisendid		
Kuivati kütteõli	2625 l	26 024
Diiselmootor (talukogukulu)	21 345 l	211 612
Põllumajanduslikud kemikaalid, millest:	17 990 kg	210 441
Lämmastik	14 654 kg	200 268
Fosfor	734 kg	3162
Kaalium	2602 kg	7010
Seemned	9420 kg	10 467
Söödatootmisel kasutatud energia	701 934 kg	458544
Toodang		
Söötade energiasisaldus, millest:	701 934 kg	620 369
Söödabiljad + rüps	115 280 kg	128 089
Silo	583 904 kg	486 587
Kuiv hein	2750 kg	5500
Põhk	40 kg	194
Taimsed jäätmed ja energiataimed	63 057 kg	308 365
Taimekasvatus kokku	765 099 kg	928 735

Taimekasvatuse erienergia kulu on 3900 kWh/ha ja taimede energiatootlus on 7899 kWh/ha ehk ligikaudu 0,8 kWh/km². Päike kiirgab maapinnale umbes 1000 kWh/m², seega arvestades päikeseenergiat on taimekasvatuse energeetiline tõhusus (kasutegur) 0,08%. Sööda tootmiseks kasutatavat energiakogust läheb vaja piimatootmist iseloomustavate näitajate arvutamiseks. Suurima osa energiatarbest moodustavad traktorite kütusekulu ja väetised.

Piima tootmine

Talu piimatootmisega seotud sisendite ja toodangu energiasisaldused on esitatud tabelis 18. Nende andmete põhjal on arvutatud järgmised võrdlevaks hindamiseks rakendatavad näitajad: piimatootmise erienergia kulu on 1,3 kWh/l, millest söödatootmise osa on:

$$542544(\text{kWh})/841457(\text{l}) = 0,64 \text{ kWh/l};$$

soojuse osa:

$$(12000+66317)(\text{kWh})/841457(\text{l}) = 0,2 \text{ kWh/l};$$

elektri osa:

$$(264239+88401)(\text{kWh})/841457(\text{l})=0,4 \text{ kWh/l}.$$

Piimatootmise energeetiline efektiivsus on $747962/1081501 = 0,7$.

Biogaasi tootmine

Sõnnikust ja taimsetest jäätmetest saab toota biogaasi, mida on võimalik kasutada kütteks või elektri tootmiseks. Tabelis 19 on toodud sõnniku ja taimsete jäätmete energeetiline potentsiaal, mille arvutamisel on lähtutud allolevatest näitajatest.

Biogaasi energiast 35% muundatakse elektriks, millest biogaasijaam kasutab omaks tarbeks ära 12%. Biogaasi energiast 65% muundatakse soojuseks, millest 1/3 tarbib ära biogaasi reaktor, 1/6 kasutatakse lauda kütteks ja 1/6 kulub muude hoonete kütmiseks. Ülejäänud kolmandiku moodustavad soojuskaod. Biogaasijaama energeetili-

Tabel 18. Seiretalu 2FIN piimatootmise sisendite ja toodangu energiasisaldused (KA - kuivaine)

Piima tootmine	Kogused 2010. a	Energiahulk kWh
Sisendid		
Sööt ja allapanu (hinnanguliselt)	-	84 000
Sööt taimekasvatusest	701 934 kg	458 544
Elekter	264 239 kWh	264 239
Elekter biogaasijaamast	88 401 kWh	88 401
Soojusenergia katlamajast	120 000 kWh	120 000
Soojusenergia biogaasijaamast	66 317 kWh	66 317
Kokku	-	1 081 501
Toodang		
Piim	841 457 l	747 962
Vasikad, eluskaalus	15 435 kg	27 869
Sõnnik	259 600 kg (KA)	1 081 667
Kokku	-	1 289 966

Tabel 19. Seiretalu 2FIN biogaasitootmise sisendite ja toodangu energiasisaldused (KA - kuivaine)

Biogaasi tootmine	Kogused 2010. a	Energiahulk kWh
Sisendid		
Sõnnik	259 600 kg (KA)	1 081 667
Taimsed jäätmed	63 075 kg (KA)	292 953
Kokku	-	1 374 620
Toodang		
Soojus	132 634 kWh	132 634
Soojusenergia hoonete kütteks	66 317	66 317
Soojusenergia lauda kütteks	66 317	66 317
Elekter	88 401	88 401
Kokku	-	221 035

ne efektiivsus on 0,2 (seejuures pole arvestatud biogaasi tootmisjääkide energiasisaldust).

guliselt kokku 30%. Katlamaja sisendite ja väljundite energiasisaldused on esitatud **tabelis 20**.

Katlamaja

Katlamaja põhikütteks on hakkpuit, kuid tippkoormuse tarbe katmiseks kasutatakse sellele lisaks veel kütteõli. Hoonetesse jaotatakse soojus kaugküttetorustike abil. Soojuskaod selle tootmisel ja jaotusvõrgus moodustavad hinnanguliselt

Eluruumid ja majandushooned

Seiretalu ehitiste ulatusliku energiakulu peapõhjuseks on nende suur pindala. Soojade ruumide brutopind on umbes 4400 m² ja kubatuur umbes 17 000 m³. Ehitiste kütteenergia tarbimine on esitatud **tabelis 21**, kus soojusenergia kogu-

Tabel 20. Seiretalu 2FIN katlamaja sisendite ja toodangu energiasisaldus

Energiavoog	Kogus 2010. a	Energiahulk kWh
Sisendid		
Kerge kütteõli	23 566 liitrit	233 631
Hakkpuit	1 442 m ³	1 301 806
Kokku		1 535 436
Toodang		
Soojusenergia lauda kütteks	-	120 000
Soojusenergia muude hoonete kütteks	-	954 805
Kaod, hinnanguliselt 30%	-	460 631
Kokku	-	1 535 436
Soojusenergia netokulu	-	1 074 805

Tabel 21. Ehitiste soojus- ja elektrienergia tarbimine

Energiaallikas	Kulu kWh	kWh/m ²	kWh/m ³
Soojusenergia katlamajast	954 805	173	56
Soojusenergia biogaasijaamast	66 317	12	4
Soojusenergia kokku	1 021 122	185	60
Elekter	216 606	39	13
Energiatarbimine kokku	1 237 728	225	73

sed on arvatud kütteainete kulu ja kütteväärtuse põhjal. Soojuskaod kaugkütte torustikes ja hoonete individuaalne soojakulu pole teada.

Võrdluseks olgu mainitud, et normaalseks energiakuluks 2010. aastal võib lugeda 100 – 110 kWh/m², energiasäästlikes majades on see 26 – 50 kWh/m² ja passiivmajadel 15 – 25 kWh/m². Energiasäästu meetmete juurutamisel tuleks lähtuda hoonete individuaalse energiakulu mõõtmisest.

Energiakulu hinnang

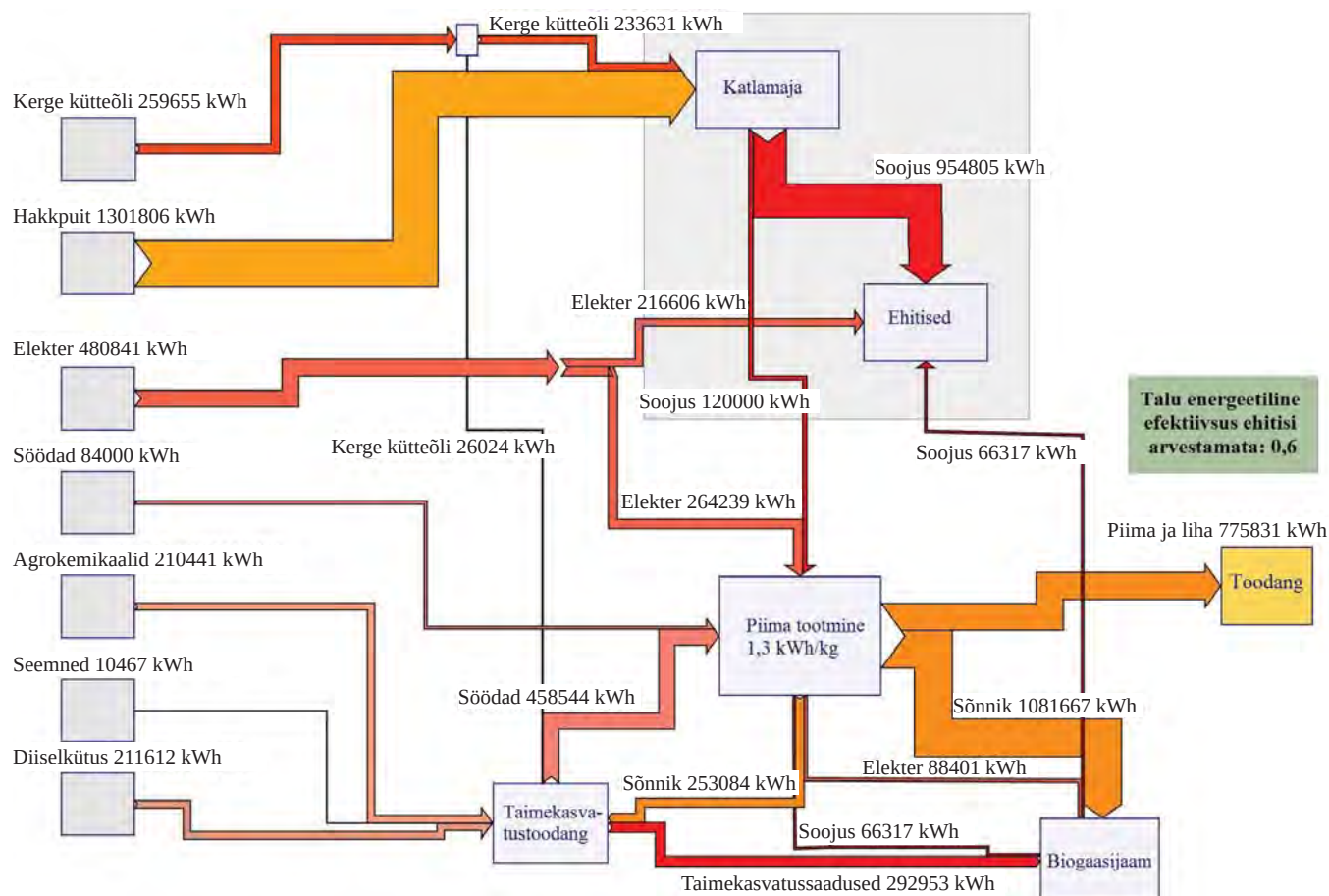
Joonisel 11 on esitatud kogu talu energiavoogude skeem. Talu energia erikulu on 20 723 kWh/ha. Sellest eluruumide, majandus- ja kontorihoonete energiatarbe lahutamisel jääb tootmisenergia erikuluks 10 409 kWh/ha. Suurima osa energiakulust moodustab ehitiste küte, mida oleks võimalik vähendada nende tõhusama

soojustamisega.

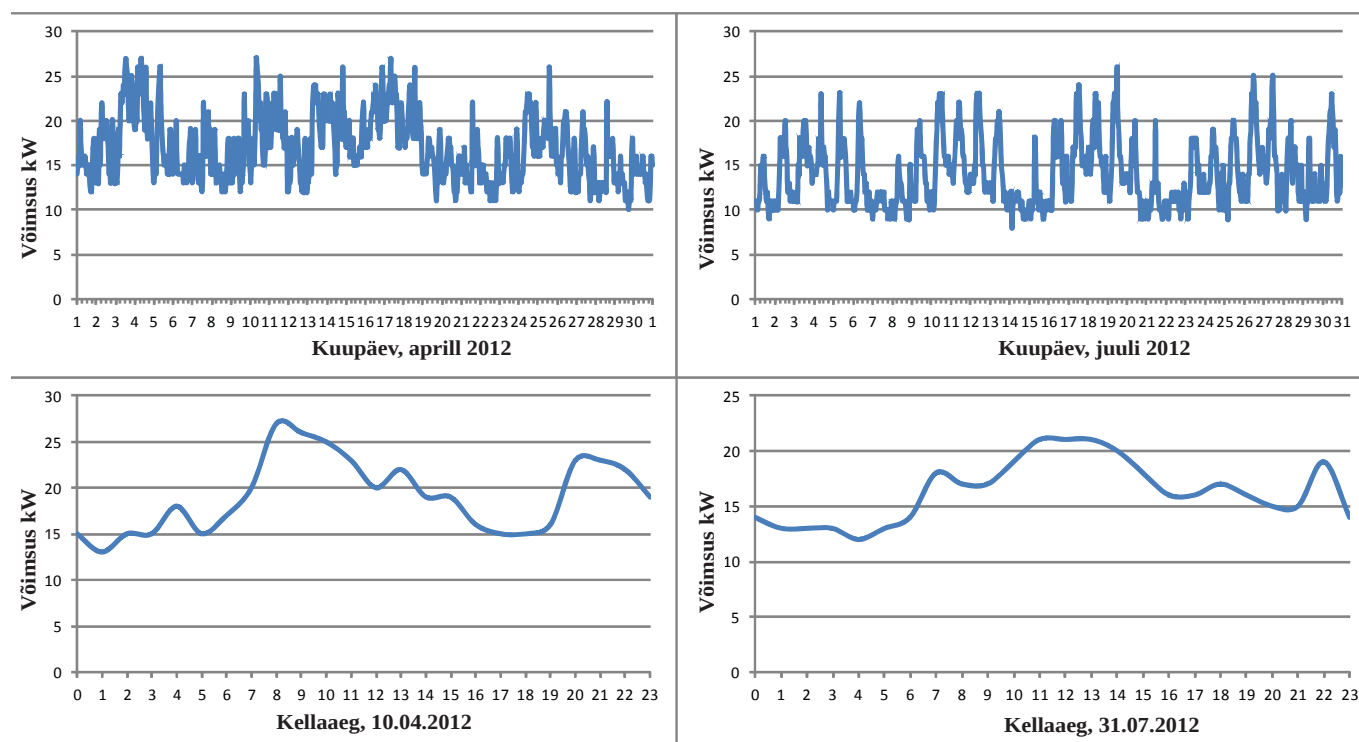
Soojuse- ja elektrikulu mõõtmine ehitiste kaupa võimaldaks välja selgitada energia raiskamist soodustavad tegurid ning soojuse lekkekohad kaugkütte võrgus. Elektritarnijatelt on võimalik saada **joonisel 12** esitatud kujul üldtarbimist puudutavaid andmeid. Antud näite kohaselt oli aprillis eluruumide, majandus- ja kontorihoonete poolt tarbitav elektriline võimsus keskmiselt 23 kW ja tippkoormusel 40 kW.

Elektrit oleks talus võimalik toota näiteks päikeseenergiast. Päikese keskmine erivõimsus aprillikuus on 153 W/m² ja juunikuus 241 W/m². Oletades, et päikeseplatari kasutegur on 10% ja päikeseenergiat saab kasutada poole ööpäeva jooksul, peaks poole elektrienergiakulu katmiseks kasutama päikesepaneeli, mille üldine pindala on:

$$23(\text{kW})/[2 \times 0,153(\text{kW/m}^2) \times 10\%] = 751 \text{ m}^2.$$

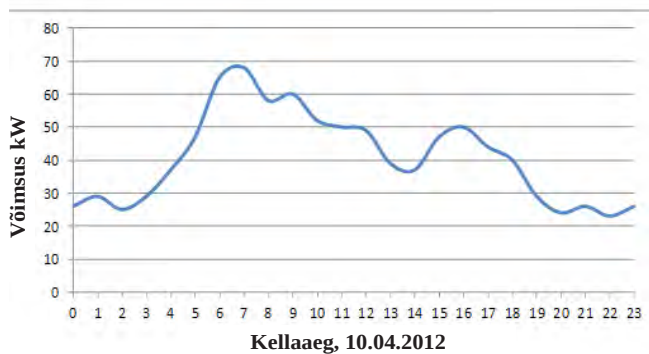
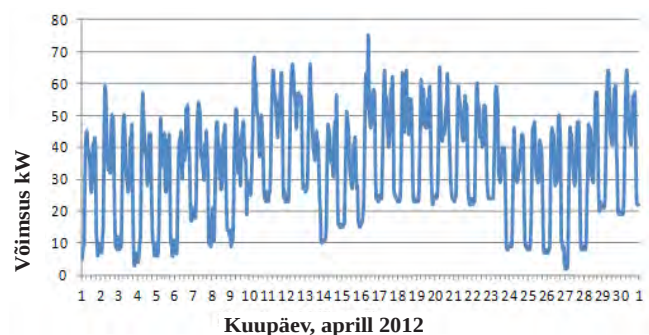


Joonis 11. Seiretalu 2FIN energeetilise analüüsi tulemused



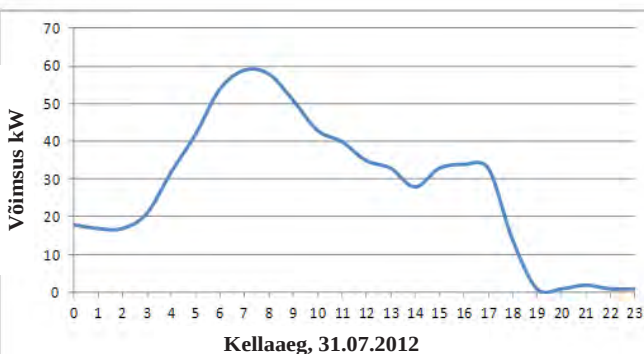
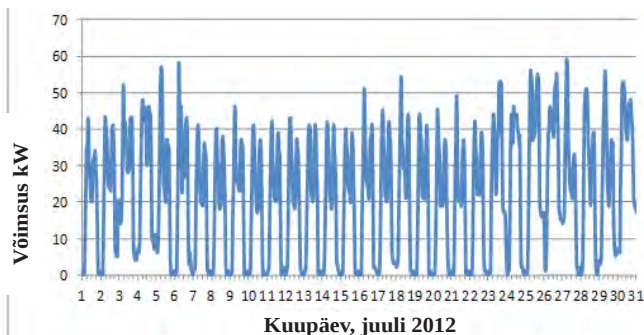
Joonis 12. Seiretalu 2FIN eluruumide, majandus- ja kontorihoonete elektritarbimine aprillis ja juulis 2012 vastavalt tarnija andmetele

Laudas oli elektritarbimise kõikumine veelgi ulatuslikum. Aastal 2012 oli seal suurim tarbitav võimsus 86 kW ja väikseim võimsus 0 kW (**joonis 13**). Lauda elektrikulu on suurim lüpsi ajal ja ka elektritarbimise kõikumised on põhjustatud eelkõige lüpsist.

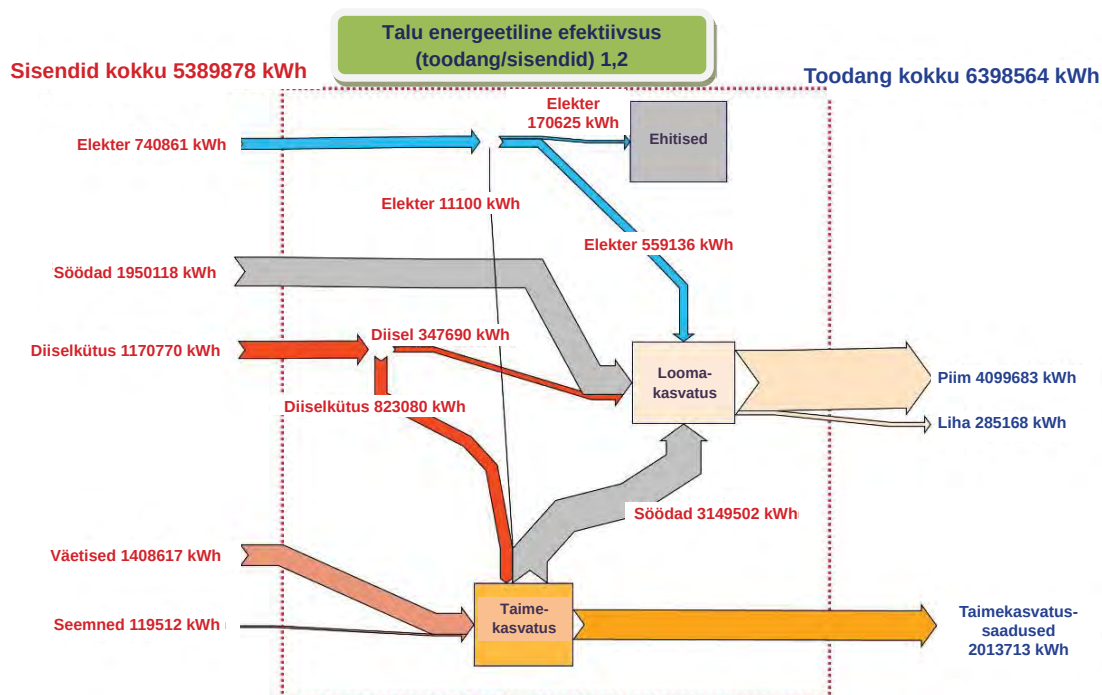


Piimakarjatalu 2EE

Talu pindala on 1752 ha, millest 350 ha kasutatakse teravilja- ja 153 ha rapsikasvatuseks. Talus on 523 lüpsilehma ja 486 noorlooma. Tootmise energiavood on esitatud **joonisel 14**.



Joonis 13. Seiretalul 2FIN lauda elektritarbimise andmeid aprillis ja juulis 2012



Joonis 14. Seiretalul 2EE energiavood

Taimekasvatus

Taimekasvatussaaduste tootmiseks kasutatud energia on toodud **tabelis 22**. Taimekasvatustes kulub lämmastikväetisi 679 kWh/ha. Söödate-ravilja ja rapsi kuivatamise energiavajadus on

0,087 kWh/kg. Taimekasvatuse energia erikulu on 1348 kWh/ha ja taimekasvatussaaduste energiasisaldus on 15 240 kWh/ha (1,5 kWh/m²). Arvestades ka päikese kiirgusenergiat, mis on umbes 1000 kW/m², saame taimekasvatuse energeetiliseks efektiivsuseks 0,15%. Andmeid söö-

Tabel 22. Seiretalu 2EE taimekasvatuse energeetilised sisendid ja taimekasvatussaaduste energia

Taimekasvatus	Kogus 2010. a	Energiahulk kWh
Sisendid		
Kuivati elektrikulu	-	11100
Diiselmüütus ja kütteõli, sh	82 308 l	823 080
Kuivati	15 639 l	156 385
Masinad	66 669 l	666 695
Agrokemikaalid, sh	130 000 kg	1 408 617
Lämmastikväetised	87 000 kg	1 189 000
Fosforväetised	12 000 kg	118 867
Kaaliumväetised	31 000 kg	100 750
Seemned, sh	124 996 kg	119 512
Teravili	122 657 kg	117 205
Raps	916 kg	947
Kultuurheinad	1423 kg	1360
Kokku	-	2 362 309
Taimekasvatussaadused		
Söödad, sh	16 433 753 kg	22 679 079
Suvinisu	738 380 kg	2 981 269
Suivoder	541 943 kg	2 184 578
Kaer	234 612 kg	993 419
Rukis	70 450 kg	283 581
Mais	614 688 kg	2 397 932
Raihein	980 144 kg	952 918
Karjamaarohi	712 790 kg	692 990
Kuiv hein/silo	12 540 746 kg	12 192 392
Müüdav saak, sh	330 997 kg	2 013 713
Suivoder	95 637 kg	385 514
Suiviraps	193 830 kg	1 340 898
Taliraps	41 530 kg	287 301
Põhk	476 000 kg	2 008 323
Punase ristiku seemned	7830 kg	-
Taimekasvatus kokku	17 248 580 kg	26 701 115

datootmiseks kuluva energia kohta läheb vaja piimatootmise energiakulude arvutamisel. Taimekasvatuse suurim energiakulu on traktorite kütusekulu ja väetamine.

Talu taimekasvatussaaduste osas on energeetilise efektiivsuse näitaja 11. Selle väärtus on üpris suur, mis võib tähendada seda, et mõned energiakulu allikad on jäänud tähelepanuta. Samas tekib talus loomakasvatuse kõrvalsaadusena sõnnikut, mis vähendab mineraalväetiste tarvet ning heinakasvatuse suure energeetilise efektiivsuse tõttu õnnestub sellega viljast enam biomassi energiat toota. Ka põhu kasutamine söödaks ja allapanuks parandab energeetilise efektiivsuse

taset. **Tabelis 23** on esitatud talu piimatootmisega (**joonis 15**) seotud sisendite energia ja toodanguenergia.

Nende põhjal saame arvutada järgmised iseloomulikud näitajad:

- piimatootmise erienergia kulu on 1,3 kWh/l, millest
 1. söötade osa on:
 $(1950118 + 3149501)/4612143 = 1,11 \text{ kWh/l}$,
 2. elektri osa on: $559136/4612143 = 0,12 \text{ kWh/l}$,
 3. diiselkütuse osa on:
 $347690/4612143 = 0,08 \text{ kWh/l}$.
- Piimatootmise (koos lihaga) üldine energeetiline efektiivsus on $4384851/6006445 = 1,30$.

Kokkuvõtvalt on seiretalude energiakasutust võrreldud **tabelis 24**.

Tabel 23. Seiretalude 2EE piimatootmise energeetilised sisendid ja toodangu energiasisaldus

Piima tootmine	Kogus 2010. a	Energiahulk kWh
Sisendid		
Ostujõusööt ja allapanu	1 426 901 kg	1 950 118
Söödad taimekasvatusest ja põhk (allapanuenergia)	12 833 908 kg	3 149 502
Elekter	-	559 136
Diiselkütus	35 071 l	347 690
Kokku	-	6 006 446
Toodang		
Piim	4 612 143 kg	4 099 683
Liha	123 781 kg	285 168
Kokku	-	4 384 851



Joonis 16. Seiretalude 2EE karjalaut

Kokkuvõtte seiretalude energiakasutusest

Tabel 24. Kokkuvõtte seiretalude energiakasutusest (e-ef = energaetiline efektiivsus)

Põllumajandustalu	Ühik	1EE	1EE	1EE	2EE	2EE	2EE	3EE	3EE	3EE
Taimekasvatuse	aasta	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Pindala	ha	4 500	4 500	4 500	1 752	1 752	1 752	2 700	2 700	2 700
Elektrikulu	kWh/ha	-	-	-	-	3	-	-	-	-
Diisel	kWh/ha	-	-	-	-	381	-	-	-	-
Kuivatus	kWh/ha	-	-	-	-	89	-	-	-	-
Kemikaalid	kWh/ha	-	-	-	-	804	-	-	-	-
Seemned	kWh/ha	-	-	-	-	68	-	-	-	-
Kokku	kWh/ha	1 553	2 339	2 308	2362	1345	2234	1 899	1 882	1 987
Taimekasvatuse e-ef	1	5	7	6	7	11	7	6	6	5
Loomakasvatuse										
Loomade arv	1	1 643	1 670	1 775	526	523	524	584	559	596
Ühik		kg piim	kg piim	kg piim	kg piim	kg piim	kg piim	kg piim	kg piim	kg piim
Ostusööt	kWh/ühikus	0,62	0,53	0,38	0,29	0,42	0,39	0,33	0,32	0,28
Talus toodetud sööt	kWh/ühikus	0,52	0,83	0,79	0,92	0,68	0,86	0,83	0,95	0,92
Sööt kokku	kWh/ühikus	1,14	1,36	1,17	1,21	1,10	1,25	1,16	1,27	1,20
Elektrikulu	kWh/ühikus	0,11	0,14	0,12	0,12	0,12	0,11	0,10	0,12	0,11
Soojakulu	kWh/ühikus	0,02	0,03	0,01	-	-	-	-	-	-
Muu kulu	kWh/ühikus	0,08	0,09	0,08	0,07	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08
Kokku	kWh/ühikus	1,35	1,62	1,38	1,40	1,30	1,45	1,34	1,48	1,39
Loomakasvatuse e-ef	1	0,71	0,60	0,69	0,67	0,73	0,65	0,74	0,71	0,70
Tootmise e-ef	1	-	-	-	1,19	-	-	-	-	-
Märkused		1	1	1	1	2	1	1	1	1
1	Taimekasvatustoodangu hinnanguline energiakulu: sööda kütteväärtus miinus söodatootmise hinnanguline energia									
2	Taimekasvatustoodangu energiakulu: taimekasvatuse ja söodatootmiseks kulunud energia tugineb mõõtmistele									
3	Ilma elu-, majandus- ja kontorrühmade kütteenegiata									
4	Ilma kütteenegiata									

ENERGIA SÄÄSTMINE PÕLLUMAJANDUSTALUS

Jukka Ahokas, Hannu Mikkola, Mari Rajaniemi,

Imbi Veermäe, Jaan Praks, Juri Frorip, Eugen Kokin,

Helis Rossner, Liina Talgre, Enn Lauringson, Henn Raave, Alar Astover



Foto: Väino Poikalainen



C. R. Jakobsoni talumuuseumis Kurgjal on taime- ja ...



... loomakasvatusel pikaajalised traditsioonid (fotod: Väino Poikalainen)

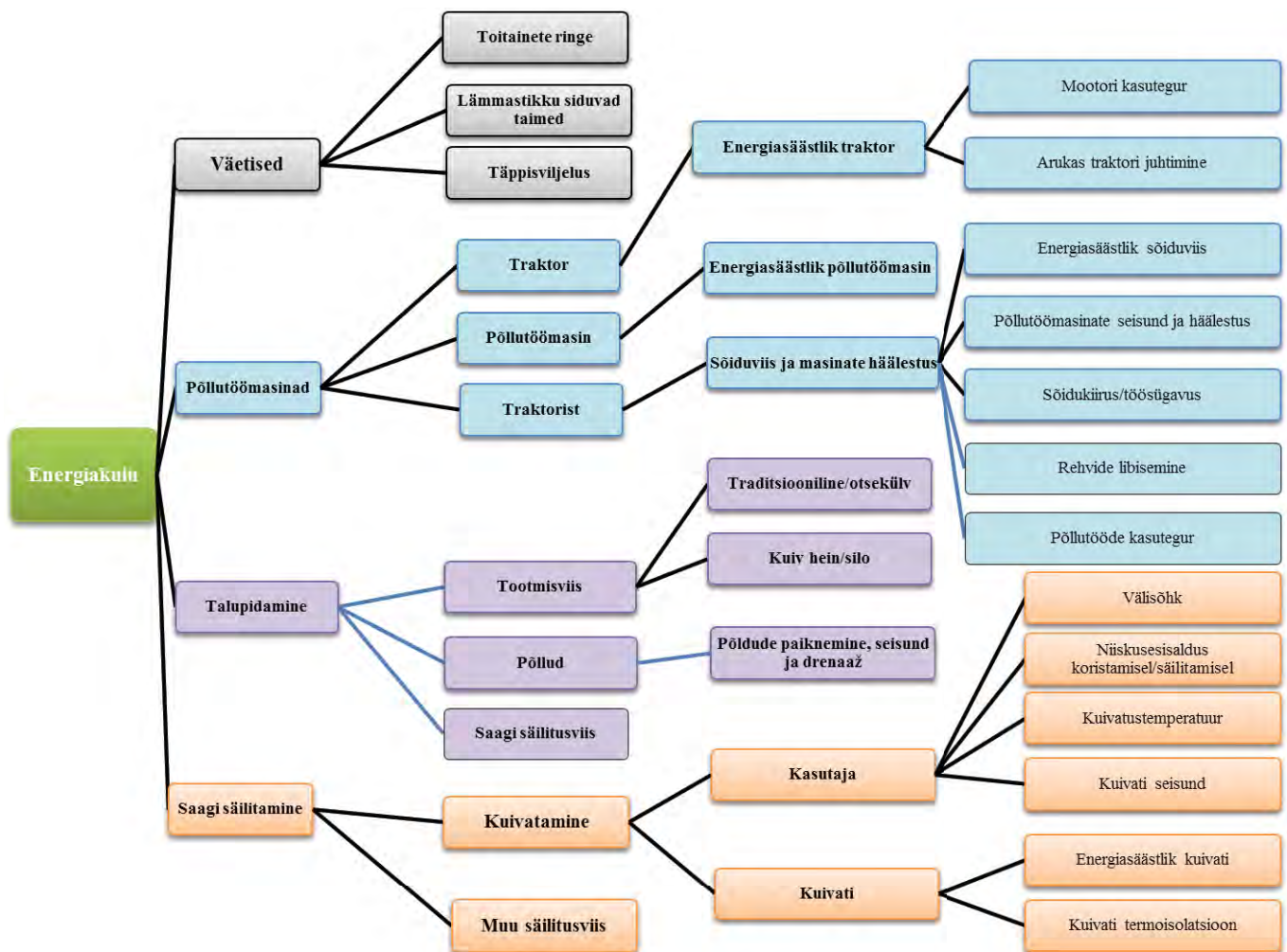
Taimekasvatus

Jukka Ahokas

Taimekasvatustes põhjustavad suurimat energiakulu väetiste tootmine, põllutöomasinate kasutamine ja saagi säilitamine (kuivatamine). **Joonisel 1** on skemaatiliselt kujutatud taimekasvatuse energiakulu mõjutavaid tegureid, milleks on eelkõige väetised, põllutöomasinad, talupidamise korraldus ja saagi säilitamisega seonduvad tegevused. **Joonisel 2** on toodud odrakasvatuse energiakulude osakaalud Soome oludes (vt ka "Põllumajanduslik energiakasutus" joonis 3). Põhiliseks maaharimisega seotud tegevuseks on künd, millele järgnevad muud tööoperatsioonid koos vajalike materjalide kasutamisega. Arvesse

on võetud tootmisahela otsesed ja kaudsed energiakulud. Agrokemikaalid (väetised, taimekaitsevahendid, lubi jms) määravad peaaegu poole kogu energiakulust, kusjuures suurim roll (30 %) on lämmastikväetistel. Joonisel 2 toodud näites kasutatakse lämmastikku 100 kg/ha, mis vastab odrakasvatuses ka reaalselt rakendatavale ja optimaalsele väetisekogusele. Energiakasutuse seisukohast on antud kogus samuti lähedane optimaalsele, kuna siis on saagis sisalduva ja kasvatamisele kuluva energia suhe kõige suurem.

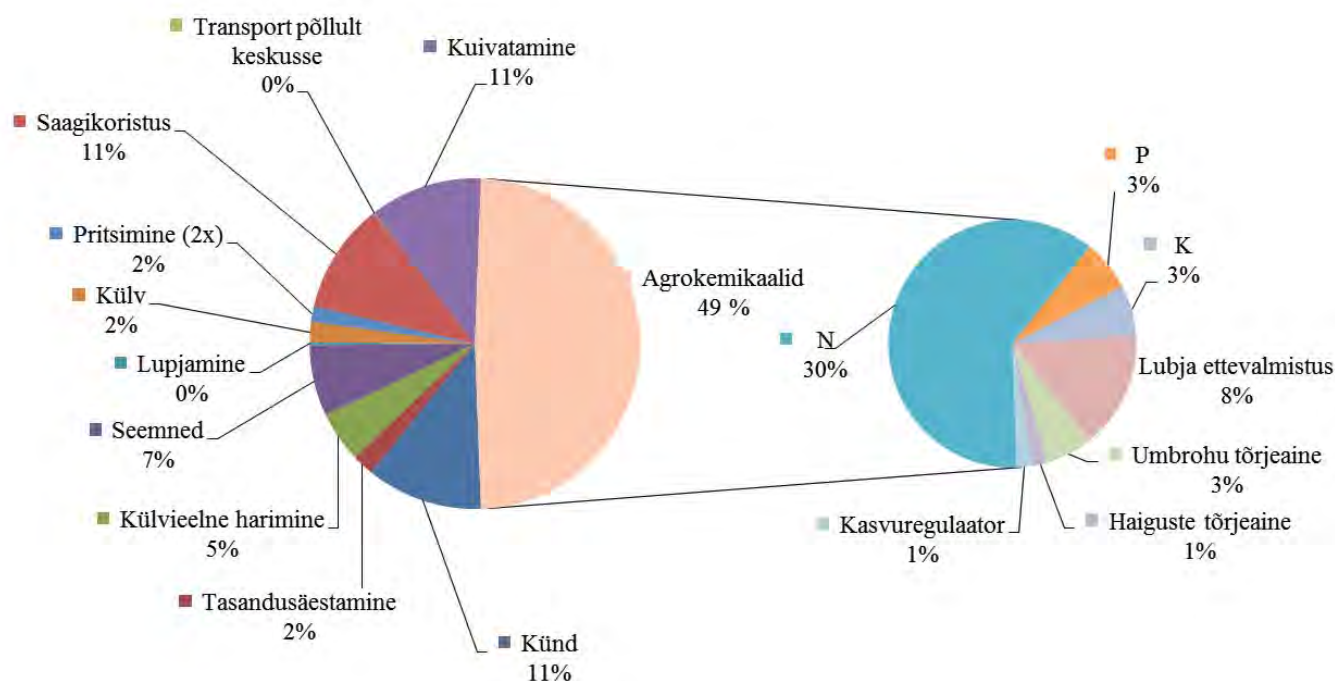
Energiat on võimalik säästa väetisekulu vähendamise, näiteks toitainete ringes lämmas-



Joonis 1. Taimekasvatuse energiakasutust mõjutavad tegurid

tikku siduvate taimede kasutamise abil. Põllu- töömasinate energiakulu on võimalik vähendada õigete ekspluatatsioonivõtete ja alternatiivsete maaharimismeetodite rakendamisega. Põhja-

poolsetes piirkondades kulub rohkesti energiat saagi kuivatamisele. Kuivatamise efektiivse- maks muutmise või sellest loobumisega on sa- muti võimalik energiat säästa.



Joonis 2. Odrakasvatuse energiakulude jaotus (üldine energiakulu on 14 GJ/ha)

Väetiseenergia säästmise võimalused

Helis Rossner, Liina Talgre, Enn Lauringson, Henn Raave, Alar Astover

Erinevate maakasutusviiside rakendamisel tuleb arvestada, et see oleks jätkusuutlik nii ökoloogilises, sotsiaalses kui ka majanduslikus mõttes. Kaasaegne taimekasvatuse baseerub enamasti fossiilsetel kütustel. Kui rahalises arvestuses moodustavad teravilja kasvatamisel masinate kasutamise seotud kulud suurima osa kõikidest tootmiskuludest, siis energeetilisest aspektist lähtuvalt on tava- ja intensiivtootmises üldjuhul suurim osa diiselkütusel ja väetistel. Arvukad uuringud näitavad, et kolmandik kuni üle poole energiasisendist kulub mineraalväetiste toomisele ja kasutamisele. Sama tulemust

kinnitab ka ENPOS projekti taimekasvatustalude energiaanalüüs, kus kogu kasutatud energiast moodustasid väetised umbes 65%, millest mineraalse lämmastiku osa on omakorda umbes 90%. Teoreetiliselt võivad talud suures osas end ise energiaga varustada, kasutades biomassi, orgaanilisi jäätmeid, sõnniku bioenergiat jne.

Energia kokkuhoiu võimaluste otsimist tuleks alustada suurimalt kulukohalt. Mineraalse lämmastikväetise sünteesiks kasutatakse suurtes kogustes fossiilkütuste energiat, millega kaasneb kasvuhoonegaaside emissioon. Põllumajandus põhjustab inimtekkeliste kasvuhoonegaaside

emissioonist 10 – 12%¹. Eestis moodustab põllumajandus kogu kasvuhoonegaaside emissioonist 6%. Suurim osa kasvuhoonegaase moodustub kariloomade seedeprotsesside käigus toimival fermentatsioonil ja otsesest lendumisest põllumullast². Seega annab kasvuhoonegaaside emissiooni piiramine läbi fossiilkütuste kasutamise vähendamise panuse keskkonna säästmisse. Põllumajandustootjat ajendab lämmastikväetiste kasutamises muutusi tegema võimalik rahaline kokkuhoid. Energia hind mõjutab otseselt või kaudselt kõigi põllumajanduslike sisendite hindu, ka mineraalväetiste hinnas kajastub energia hind, mis nende tootmiseks on kulutatud.

Väetiste kasutamise efektiivsust mõjutavad nii looduslikud, antropogeensed kui ka majanduslikud tegurid. Taimede saagipotentsiaal realiseerub optimaalsete kasvutingimuste tagamisel. Kui taimekasvuperioodi ilmastikuriskid (sademed, põud, tormid jne) ei ole otseselt maakasutaja poolt kontrollitavad, siis inimtekkelist riski saab minimeerida muude optimaalsete tingimuste tagamisega (õigeaegselt ajastatud põllutööd – külv, väetamine, taimekaitse, vastavalt mullastikule valitud kultuurid jne), mis tagab väetiste kõrge efektiivsuse.

Mõnel juhul võib energia kasutamise efektiivsus ehk kasutegur (vt Põllumajanduslik energiakasutus) olla kõrgeim madala sisendiga külvikorras (nt mahepõllumajanduses), kuid see ei pruugi tähendada jätkusuutlikku taimekasvatust.

1 Smith, P., D. Martino, Z. Cai, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. McCarl, S. Ogle, F. O'Mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, 2007: Agriculture. In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.

2 Keskkonnaministeerium, 2009. Eesti viies kliimaaruanne. ÜRO kliimamuutuste raamkonventsiooni elluviimise kohta. Eesti 2009, http://www.envir.ee/orb.aw/class=file/action=preview/id=1174679/V_kliimaaruanne_est.pdf

Tähelepanu tuleb pöörata järgmistele aspektidele: 1) mulla viljakuse ja kvaliteedi säilimine, 2) produktiivsuse säilimine, 3) saagi kvaliteet. Mulla viljakus on aluseks taimede tasakaalustatud toitumisele. Katsetega on tõestatud, et ainult mineraalväetistega toiteelementide bilansi tasakaalus hoidmine ei taga mullaviljakuse (mulla struktuuri, veehoiuvõime, toitainete sidumise võime jne) säilimist. Eesti Maaülikooli Eerikal asuva pikaajalise põldkatse andmetele tuginedes on leitud, et 15 aasta jooksul ainult mineraalväetistega külvikorras (suviniisu-oder-kartul) on mulla orgaanilise aine sisaldus langenud umbes 0,14% võrra. Tahesõnnik iga kolme aasta tagant (40 t/ha) suurendas huumuse sisaldust 0,25% võrra.

Eestis on põllumajandusmaa hektari kohta kasutatav sõnnikukogus umbes 2 – 3 t/ha, mis ei taga mullaviljakuse säilimist. Mulda viidud orgaanilise aine humifikatsioonikoefitsient on Eestis keskmiselt 0,2. Teiselt poolt mineraliseerub aastas 1 – 3% huumusvarust. Et mineralisatsioon ja humifikatsioon oleksid tasakaalus, peab mulda jõudma 5 – 6 t/ha orgaanilist kuivainet aastas. Seega mullaviljakuse säilitamiseks on vaja kasutada alternatiivseid orgaanilisi väetisi (haljasväetised, kompostid orgaanilistest jäätmetest jm), mis omakorda suurendavad ka mineraalväetiste efektiivsust. Lisaks võimaldavad vältida potentsiaalseid kadusid ning vähendada seeläbi väetiste energiakulu.

Mineraalväetiste kokkuhoiuvõimaluste leidmisel tuleb lähtuda konkreetse ettevõtte asukohast, mullastikust ja muldade kasutussobivusest ning koostada toiteelementide bilanss, et selgitada kas saagiga eemaldatavad toitainete kogused on tasakaalus mulda viidavatega. Eelnev on aluseks kokkuhoiu võimaluste leidmisel. Võimalik kokkuvõtte mineraalväetiste arvel.

- Lämmastikku siduvate taimede kasvatamine (haljasväetised), vahekultuuride kasvatamine.

- Toitaineterikaste orgaaniliste väetiste kasutamine (kompostid, talusisesed jäätmed, kohalikud tööstusjäätmed).
- Toiteainete omastamiseks optimaalsete kasvutingimuste tagamine, mis suurendab väetiste kasutamise efektiivsust. Näiteks mulla huumusseisundi reguleerimine orgaanilise aine mulda akumuleerimise näol (sh biosüsi), mis parandab mulla struktuuri, füüsikalise-keemilisi omadusi ning vee- ja õhurežiimi, tagab efektiivsema väetiste kasutamise ja väiksemad kaod.

Väetisekasutuse optimeerimine

Tasakaalustatud väetamine nii mineraalsete kui orgaaniliste väetistega saab tulla ainult lähtuvalt mulla omadustest ja kasvatatava kultuuri bioloogilistest vajadustest. Seega esimene samm on valida vastavalt mullale sobilikud kultuurid (suviteraviljad, taliteraviljad, õlikultuurid, heintaimed, energiavõsa vm). Kultuuride kasutussobivuse üle otsustamiseks vastavalt mullale on enim kasvatatavate põllukultuuride jaoks välja töötatud 10-hindepunktine skaala³. Mida suurem hindepunkt, seda paremini antud mullaerim (mulla liigid jaotatud lõimise kaupa) kindla kultuuri kasvatamiseks sobib.

Mulla huumusesisaldus ja selle koostis ning toiteelementide varud omavad olulist mõju saagikusele ja väetamise vajadusele. Need on ka peamised võtmetegurid väetiste efektiivsuse ja keskkonnamõjude kujunemisel. Tasakaalustatud väetamise aluseks on mulla väetistarbe analüüsid. Mullaanalüüsides lähtuvate väetistarbete ja planeeritava saagi alusel tuleks leida optimaalsed väetise kogused. Siinkohal on oluline arvestada, et mida suurem on mulla toiteelementide sisaldus, seda madalam on väetiste efektiivsus.

Kultuurtaimed kasutavad Eesti tingimustes aastas keskmisena umbes 10% mullas olevast laktaatlahustuvast fosforist (P) ja 20% kaaliumist (K). Suurema mulla P-sisalduse korral on väetistega antava P leostumine ja muutumine taimedele omastamatusse vormi suurem. Samuti võib liigne väetamine takistada mõne teise toiteelementi omastatavust (nt K liig takistab magneesiumi ja kaaliumi omastamist). Seega liiga ühekülgne ja mullaomadusi mittearvestav väetamine võib osutuda kulukaks nii majanduslikus kui ka energiaenergeetiliselt mõttes, taimekasvu pärssivaks ja võib negatiivselt mõjuda keskkonnale.

Huumusesisaldus sõltub mulla liigist, lõimisest jm teguritest. Huumusega on lineaarses positiivses seoses mulla lämmastiksisaldus, mis võimaldab huumusesisalduse alusel optimeerida lämmastikväetiste kasutust. Mulla lämmastikust (N) on enamuse orgaanilise aine koostises ja seega sõltub taimede varustatus lämmastikuga orgaanilise aine mineralisatsioonist. Eesti tingimustes mineraliseerub huumusvarudest aastas keskmiselt 1 – 3%.

Mineraalse N-väetise normide optimeerimisel ei tohiks piirduda ühekülgse lähenemisega ning lisaks agronoomilistele ja majanduslikele aspektidele tuleb arvestada ka energiapara-meetreid (vt joonis 5). Väetamise optimeerimise põhialused on sõltumata parameetrist samad. Majanduslikust ja keskkonnakaitselisest aspektist lähtuvalt on kõige otstarbekam väetisnormide (eriti lämmastikväetisnormide) arvutamisel aluseks võtta väetiste efektiivsusel põhinev nn. funktsionaalne meetod. Agronoomiliselt, majanduslikult ja energiaenergeetiliselt efektiivsed väetiskogused sõltuvalt mulla toitainetega varustatusest ning need seosed on piisavalt hästi iseloomustatavad ruutfunktsiooniga.

Et leida potentsiaalne maksimaalne saak või muu näitaja vastavalt väetamisele, on võimalik lähtuda võrranditest, mis iseloomustavad väetisekoguse ja vastava parameetri vahelist seost.

³ Kõlli, R., 1994. Muldade kasutussobivus ja agrorühmad. Tartu. 85 lk.

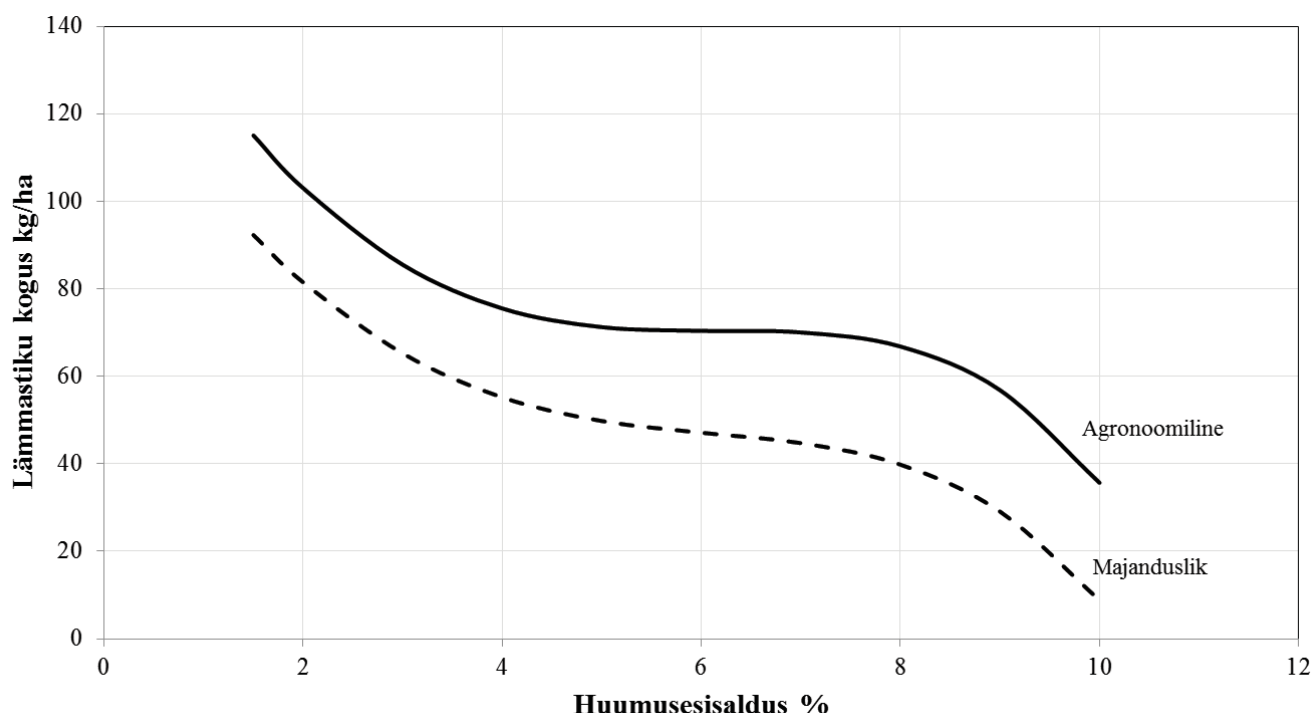
Teatavasti ei ole väetisnorm ja saak omaval lineaarses sõltuvuses. Väetisnormi suurenedes ei suurene saak samavõrra, saagi juurdekasv (enamsaak) väheneb pidevalt ja lõpuks saabub punkt, kus väetisnormi suurendamine hakkab hoopiski saaki vähendama. Mida kõrgem on mulla huumuse-, liikuva fosfori- ja kaaliumisisaldus, seda väiksem on NPK väetiste efektiivsus ja väetamise tulukus ning seda madalamaks jäävad optimaalsed väetisnormid (**joonis 3 ja 4**)⁴.

The figure consists of two line graphs sharing a common x-axis representing the nitrogen fertilizer rate in kg/ha, ranging from 0 to 140.

The top graph shows the yield (Saagikuse tõus t/ha) on the y-axis, ranging from -1 to 2. Five curves are plotted, corresponding to different urea concentrations: 1,50 % (black), 2 % (blue), 4 % (red), 6 % (green), and 10 % (orange). The 1,50 % curve shows the highest yield, peaking at approximately 1,6 t/ha around 120 kg/ha N. The 2 % curve peaks at about 1,2 t/ha. The 4 % curve peaks at about 0,9 t/ha. The 6 % curve peaks at about 0,6 t/ha. The 10 % curve shows a slight increase in yield up to about 40 kg/ha N, then decreases, reaching about -0,8 t/ha at 140 kg/ha N.

The bottom graph shows the nitrogen use efficiency (Saagikuse tõus kg/kg N) on the y-axis, ranging from 0 to 30. The same five urea concentrations are plotted. All curves show a linear decrease in efficiency as the nitrogen fertilizer rate increases. The 1,50 % curve starts at approximately 27 kg/kg N at 0 kg/ha N and decreases to 0 at about 125 kg/ha N. The 2 % curve starts at approximately 25 kg/kg N and decreases to 0 at about 90 kg/ha N. The 4 % curve starts at approximately 20 kg/kg N and decreases to 0 at about 80 kg/ha N. The 6 % curve starts at approximately 16 kg/kg N and decreases to 0 at about 65 kg/ha N. The 10 % curve starts at approximately 7 kg/kg N and decreases to 0 at about 35 kg/ha N.

55



Joonis 4. Agronoomiliselt ja majanduslikult efektiivsed mineraalse lämmastiku kogused sõltuvalt mulla huumusesisaldusest (N 1,15 €/kg, oder 0,19 €/kg, enamsaagi käitlemiskulu 0,03 €/kg)

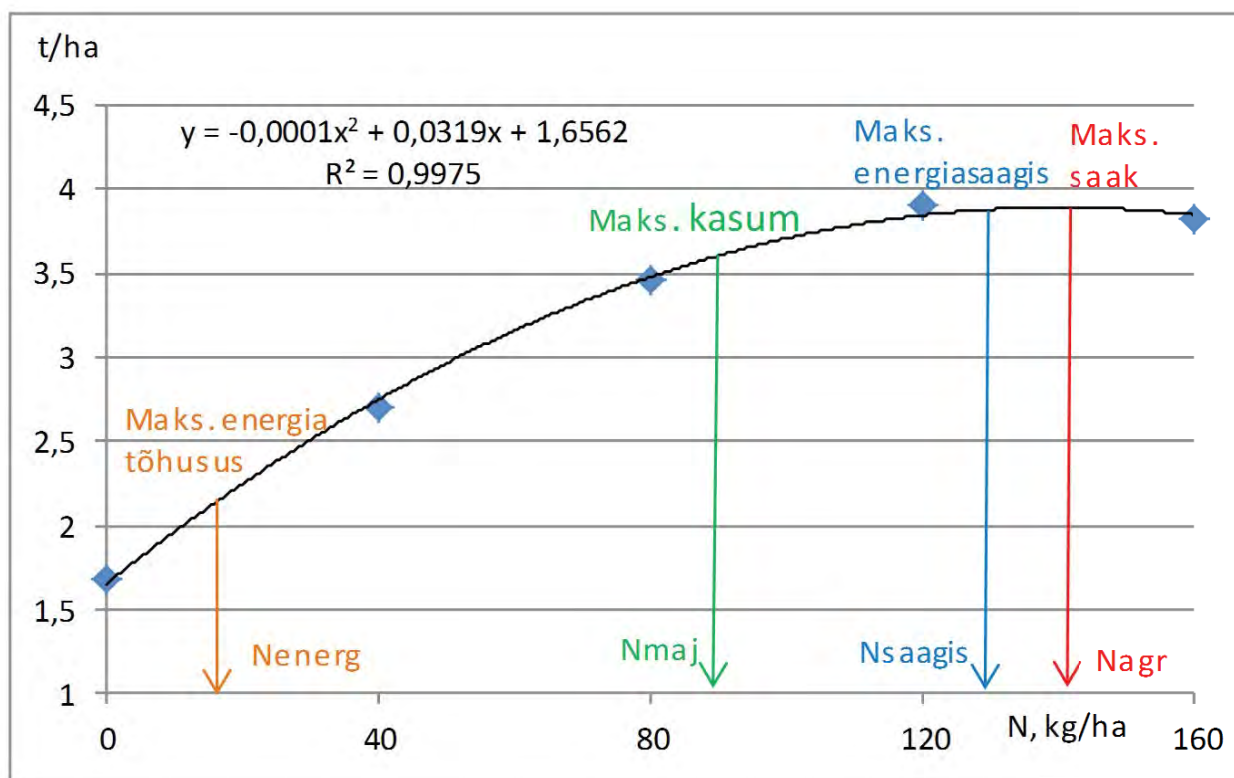
Maksimaalse saagi saamiseks vajalik lämmastiku kogus on üldjuhul suurem kui see on vajalik maksimaalse kasumi saavutamiseks. Majanduslikult efektiivne väetiskogus sõltub oluliselt turuolukorrast (realiseerimishinnast, väetiste, taimekaitse ja kütuse hindadest) ja samuti väetiste efektiivsusest. Energia toodang pinnaühiku kohta (energia saagis) ja energia kulu toodanguühiku või energia väljundiühiku kohta (energia tõhusus) on olulisimad indikaatorid hindamaks põllukultuuride kasvatamise keskkonnaefekti. Nende näitajate alusel väetamise optimeerimine võimaldab taimekasvatuse efektiivsust komplekselt hinnata.

Joonisel 5 on odra näitel illustreeritud, et maksimaalse energiasaagise (energia väljundi ja energia sisendi vahe) saamiseks on optimaalne mineraalse lämmastiku norm agronoomiliselt efektiivsetele väetiskogustele lähedane. Seega ainuüksi energiasaagise maksimeerimise eesmärgist lähtuvalt võib teraviljade lämmastikuga

väetamisel rakendada edukalt varasemaid agronoomilisi soovitusi. Maksimaalne energiatõhusus saavutatakse üldjuhul suhteliselt madalal väetiste intensiivsuse tasemel, ent selliste väetisnormide juures ei kujune kultuuride toodang piisavalt kõrgeks, et piiratud maaressursi juures tagada toidu- ja bioenergiakultuuridega varustamiseks vajalik tase.

Kokkuhoiu võimalus lämmastikku siduvate taimede arvel

Tagamaks jätkusuutlikku taimekasvatust on vaja kaasata külvikorda selliseid põllukultuure, mis mõjutavad huumusbilanssi positiivselt, samuti tuleks suurendada orgaaniliste väetiste, eelkõige haljasväetiste hulka. Liblikõieliste haljasväetiste poolt bioloogiliselt seotud lämmastik on oluline lämmastiku allikas järelkultuuridele ja hinnatud on nende mõju mulda orgaanika lisandumisele. Haljasväetiste tähtsus eelviljana sõltub kasvatamise tehnoloogiast ja õigest mulda viimi-



Joonis 5. Odra saagi ja mineraalse N vaheline seos ning agronoomiliselt (N_{agr}), majanduslikult (N_{maj}) ja energeetiliselt (N_{energ} , N_{saagis}) optimaalsete väetiskoguste kujunemine

se ajast. Lämmastiku kaod on väiksemad haljasväetise hilisema muldaviimise korral ja ka põhu lisamisel vaba mineraliseerunud lämmastiku sidujana⁵.

Haljasväetisena kasvatatakse Eestis sagedamini punast ristikut ja mesikat, aga ka hernest, harilikku- ja hübriidlutserni ning nõiahammast. Haljasväetisena võiks kasvatada ka lupiini. Haljasväetiskultuure peetakse odavateks orgaanilise aine ja lämmastiku allikateks. Nad on bioloogiliselt aktiivsed ja ületavad sageli mineraalväetiste mõju. Haljasväetiskultuuridel on kõik vajalikud omadused, nagu suhteline vähenõudlikkus mullastiku- ja ilmastikutingimuste suhtes, suur haljasmassi saak, hea õhulämmastiku sidumise võime, sügavale ulatuv tugev juurestik, väike

külvisenorm ja ka haljasmassi kõlblikkus loomastõudaks⁶.

Liblikõieliste kultuuride kasvatamine külvikorras on reguleeritud Euroopa Liidu seadusandlusega⁷, mis näeb ette keskkonnasõbraliku majandamise lisakohustuse võtnule kasvatada külvikorras 15% liblikõielisi taimi. 2011. aastal oli Eestis keskkonnasõbraliku majandamise kohustus võetud 49% (437 388 ha) toetusalusest pinnast, millest 15%-l oli lisakohustus. Liblikõielised haljasväetised on muutumas arvestatavaks orgaaniliseks väetiseks nii tava- kui mahe- tootmises, sest see on võimalus mineraalväetiste tõusvate hindade juures hoida kokku kulusid nii rahas kui ka kaudselt energias. Segatüüpi (loomaja taimekasvatus) tootmisettevõtetes kasutatakse

⁵ Lauringson, E., Talgre, L., Roostalu, H., Vipper, H., 2004. The effect of tillage and crop rotation on the content of available nitrogen, phosphorus and potassium. *Agronomy Research*, 2(1), 63 - 70.

⁶ Viil ja Võsa, 2005. Liblikõielised haljasväetised. Eesti Maaviljeluse Instituudi infoleht nr. 148, lk 16.

⁷ Euroopa Liidu ühise põllumajanduspoliitika rakendamise seaduse» §45⁴ lõike 2 ja § 45⁵ lõige 2 ja 3.

liblikõieliste haljasmassi reeglina segus kõrrelistega söödaks, kuid puhtalt taimekasvatusele orienteeritud ettevõtetes on võimalik liblikõielisi taimi edukalt kasvatada haljasväetiseks. Ühelt poolt viiakse sellega mulda täiendavat lämmastikku, mis on saagikuse kujunemisel määravaks, ja teiselt poolt parandab mulda viidud orgaaniline aine edaspidisel lagunemisel ja muundumisel täisväärtuslikuks/stabiilseks huumuseks mulla omadusi. Liblikõieliste taimede mõju järelkultuuridele on uuritud arvukates katsetes. Nende kasvatamisest saadavat efekti iseloomustab mineraalse **lämmastikväetise ekvivalent** ehk vajalik mineraalse N kogus, et saavutada sama saaki nagu liblikõielisejärgsel kasvatamisel saadakse. Haljasväetisega mulda viidav toiteelementide kogus sõltub mullastik-kliimaatilistest tingimustest, biomassi saagist, kasvatatavast kultuurist ja sellest, kas mulda küntakse ainult haljasväetise biomass või haljasväetise biomass koos kattevilja ja põhuga.

Liblikõieliste haljasväetiskultuuride puhaskülvides seotakse aastas bioloogilises ringes 90 – 270 kg N, 15 – 30 kg P, 80 – 230 kg K ja 2 – 6 t C ha⁻¹. Liblikõieliste kultuuride allakülvide korral viiakse koos kattevilja põhuga mulda 60 – 200 kg N, 10 – 24 kg P, 80 – 170 kg K ning 1,8 – 3,4 t C ha⁻¹. Lämmastiku sidumisvõime on suurem mitmeaastastel liblikõielistel nende oluliselt suurema juurekava tõttu võrreldes üheaastaste liblikõielistega. Haljasväetiste poolt salvestatud toitaineid saavad kultuurtaimed omastada alles pärast biomassi lagunemist mullas ja toitainete vabanemist. Biomassi lagunemine on kiirem parasniiske mulla korral, kõrgema temperatuuri ja madalama künnisügavuse korral. Sobivaimateks katteviljadeks liblikõielistele on lühikese kasvuajaga suviteraviljad, näiteks varajane oder, kuid allakülvid on levinud ka suvi- ja talinisul ning rukkil. Liblikõielisi võib haljasväetiseks kasvatada ka ilma katteviljata. Sellisel juhul on nende saak ja väetusefekt suurem kui kattevilja

all kasvatamisel (**tabel 1**). Näited võimalikust külvikorrast ja liblikõieliste kohast selles:

1. **Rukis/talinisu (+liblikõieline) – (liblikõieline) – taliraps/rüps – taliteravili – suviteravili – suviteravili – suviraps – suviteravili – rukis/talinisu (+liblikõieline) – ...**

2. **Rukis (+liblikõieline) – suviteravili – taliraps/rüps – taliteravili – suviteravili – talinisul (+liblikõieline) – ...**

3. **Suvider/nisu (+liblikõieline) – (liblikõieline) – talinisul – taliraps/rüps – suviteravili – suvider/nisu (+liblikõieline)**

Eesti Maaülikoolis läbi viidud katsete tulemused näitavad, et kui mulda viiakse haljasväetisega 100 kg N, siis esimesel järelmõju aastal on saagi tõus fooniga võrreldes 43%, teisel ja kolmandal aastal saadakse selle N arvel veel enamsaaki 34% ja 10%. Poole suurema N koguse korral, mis on puhaskülvi liblikõieliste korral täiesti reaalne, saadakse esimesel aastal enamsaaki 86%, teisel ja kolmandal aastal vastavalt 68% ja 20% (**joonis 6**)⁸.

Lämmastiku kaod on väiksemad haljasväetise hilisema muldaviimise korral ja eeldatavasti ka põhu lisamisel vaba mineraliseerunud lämmastiku sidujana. Kuigi liblikõieliste kevadküünd on näidanud katsetes suuremat efekti järelkultuuri saagile, siis praktikas on kevadise kiire külvaluse ettevalmistamise ja külvitööde tõttu reaalsem liblikõieliste sügisküünd. Kui plaanitakse jätta aastaks haljaskesa enne järgneva kultuuri külvi, siis saab edukalt haljasväetise sissekünni jätta järgmise aasta varasuveks. See tagab ka liblikõielise suurema biomassi ning eeldatava suurema väetusefekti.

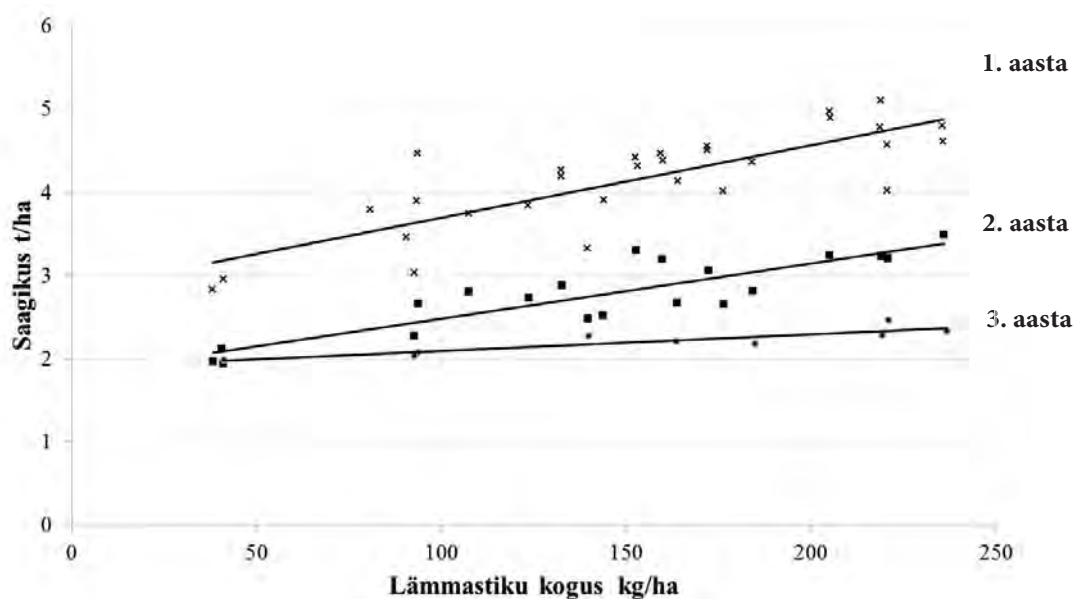
Tabelis 1 on näha, et mineraalse lämmastikväetise ekvivalent esimese aasta järelkultuu-

⁸ Lauringson, E., Talgre, L., Roostalu, H., Makke, A., 2011. Mulla huumusseisundi ja toitainete bilansi reguleerimise võimaluste ning haljasväetiskultuuride fütoproduktiivsuse selgitamine tava- ja maheviljeluse tingimustes. Põllumajanduslikud rakendusuurigud ja arendustegevus aastatel 2009-2014 aruanne, lk 78.

Tabel 1. Järeלקultuuri saak ja liblikõielistega asendatud mineraalse lämmastiku kogus

Eelvili	Mõju esimese aasta järeלקultuurile					
	Saak t/ha	Asendatud N kg/ha	Saak, t/ha	Asendatud N kg/ha	Saak t/ha	Asendatud N kg/ha
	Kaer 2006		Suvinisu 2007		Talinisu 2008	
Oder+ristik	4,34	85,5	3,87	45	5,95	100
Oder+mesikas	x	x	4,03	54	5,39	100
Oder+hübriidlutsern	4,11	70	3,72	37	6,0	100
Oder+harilik lutsern	3,32	17	3,79	46	6,2	10
Oder+nõiahammas	3,02	0	x	x	5,7	94
Ristik	4,77	100	4,48	88	xx	xx
Mesikas	x	x	4,87	>100	xx	xx
Nõiahammas.	3,87	54	4,18	64	xx	xx
Hübriidlutsern	4,58	100	4,29	72	xx	xx
Harilik lutsern	4,00	63	4,38	78	xx	xx
	Mõju teise aasta järeלקultuurile					
	Oder 2007		Oder 2008		Oder 2009	
Oder+ristik	2,79	35	2,48	15	2,49	43
Oder+mesikas	x	x	2,63	20	2,15	25
Oder+hübriidlutsern	2,65	27	2,80	26	2,4	38
Oder+harilik lutsern	2,45	16	2,71	22	2,3	33
Oder+nõiahammas	2,27	6	x	x	2,0	17
Ristik	3,20	58	3,02	34	xx	xx
Mesikas	x	x	3,22	43	xx	xx
Nõiahammas.	2,65	27	2,85	28	xx	xx
Hübriidlutsern	3,46	72	3,28	46	xx	xx
Harilik lutsern	3,17	56	3,17	40	xx	xx

x- ei kasvatatud, xx- talivilja kasvatati ainult allakülvide järgselt, mis künti mulda II aasta sügisel



Joonis 6. Haljasväetistega mulda viidud lämmastiku ja järeלקultuuri saagikuse vaheline seos (1. aasta – mõju esimese aasta järeלקultuuri saagikusele; 2. aasta – mõju teise aasta järeלקultuuri saagikusele; 3. aasta – mõju kolmanda aasta järeלקultuuri saagikusele)

ridele on 17 – 100 kg N/ha sõltuvalt aastast ja kasvatavast liigist ning kas tegu on puhas- või allakülviga⁹. Võttes aluseks mineraalse lämmastiku energeetilise ekvivalendi 13,7 kWh/kg¹⁰, moodustab energiasääst 233 – 1370 kWh/ha. See ei iseloomusta võimalikku energiasäästu, kuna liblikõieliste külviga kaasnevad ka kulud. Puhaskülvi korral (külvialuse ettevalmistusele ja külville tehtud kütuse energia ning seemnematerjali tootmiseks kulunud kaudse energia kulud) moodustavad energiakulud umbes 615 kWh/ha ja allakülvi korral, kus tuleb arvestada ainult seemne ja külvikuluga, 199 kWh/ha.

Kuna liblikõieliste saaki suurendav efekt jaotub peamiselt kahe järgneva aasta kultuurile, siis on nende kasvatamisega kaasnevad kulud jaotatud kahe aasta peale. Keskmised kulud puhaskülvi korral on 307,5 kWh/ha ja allakülvil 99,5 kWh/ha kohta aastas. Lähtudes asendatud mineraalse lämmastiku kogusest (vt tabel 1), siis allakülvide korral on võimalik energia kokkuhoid 139 – 1278 kWh/ha sõltuvalt liblikõielise liigist esimesel järelmõju aastal.

Suurima efekti annab talivilja kasvatamine liblikõieliste järgselt. Mõju suviteraviljade saagile on madalam (kuni 1056 kWh/ha). Teise aasta järelkultuuride energiakokkuhoid on madalam jäädes vahemikku 111 – 500 kWh/ha. Puhaskülvide energiasääst on vastavalt 417 – 1056 kWh/ha ja 56 – 667 kWh/ha.

Energiakulu rohumaa taimiku rajamisel on igal üksikul juhul veidi erinev. Kui künnipõhisel taimiku rajamisel võtta arvesse tehtavad töö-

operatsioonid, väetised ning seemnematerjal, on keskmine energiakulu 1,25 MWh/ha. Ühe kasutusaasta kohta teeb see 0,25 MWh/ha, kui taimik püsib viis aastat ja 0,62 MWh/ha, kui taimiku kestus on kaks aastat. Sõltuvalt liigist on liblikõieliste kasvatamisest saadav netoenergiesääst aastas 6,2 – 17,5 GJ/ha. Kõige rohkem säästab energiat punane ristik, seda vaatamata sellele, et tema kestus taimikus on enamiku teiste liikidega võrreldes lühem. Talle järgnevad lutsern, roosa ja valge ristik. Ida-kitseherne kasvatamisest saadav energiasääst on esimesel viiel aastal väike, kuid pärast viiendat aastat kasvab see oluliselt ning ületab siis kõiki teisi liike.

Praktikas enim kasutatud haljasväetiskultuurid on punane ristik ja mesikas, mis annavad lühikese kasvuajaga suhteliselt suure biomassi koguse ja seeläbi ka suurema mõju järelkultuuridele. Mõlemad näitavad allakülvidena suhteliselt arvestatavat efekti järelkultuuri saagile võrreldes puhaskülvidega. Katseandmetele tuginedes võib soovitada allakülvide kasutamist, mis lisaks mineraalse lämmastikväetise kokkuhoiule annab ka aja ning kulude kokkuhoiu külvialuse ettevalmistamise töödelt.

Valge mesikas (*Melilotus albus*) on kaheaastane kultuur, põhilise saagi annab teisel aastal. Külviaastal annab 25 – 30 t/ha haljasmassi, teisel aastal juba 35 – 40 t/ha, mis on võrdne 40 t/ha sõnnikuga. Talub kattevilja. Kui jätta talvituma, siis soovitatakse niita 10 – 13 cm kõrguselt, kui ei, siis nii madalalt, kui võimalik. Kasvab hästi Põhja- ja Lääne-Eesti lubjarikastel muldadel. Tema levikut Kesk- ja Lõuna Eestis on takistanud happelised mullad. Tänu mesika tihedale ja kõrgele kasvule tõrjub ta põllult ka umbrohtusid.

Punase ristiku (*Trifolium pratense* L.) kasvatamine sõltub mulla happesusest vähem. Haljasväetiskultuuridel on kõik vajalikud omadused, nagu suhteline vähenõudlikkus mullastiku- ja ilmastikutingimuste suhtes, suur haljasmassi saak, hea õhulämmastiku sidumise võime, sügavale

9 Lauringson, E., Talgre, L., Roostalu, H., Makke, A., 2011. Mulla huumusseisundi ja toitainete bilansi reguleerimise võimaluste ning haljasväetiskultuuride fütoproduktiivsuse selgitamine tava- ja maheviljeluse tingimustes. Põllumajanduslikud rakendusuuringud ja arendustegevus aastatel 2009-2014 aruanne, lk 78.
10 Talgre, L., Lauringson, E., Astover, A., Eremeev, V., Selge, A. 2009. The effects of pure and undersowing green manures on yields of succeeding spring cereals, *Acta Agriculturae Scandinavica*, Section B - Soil & Plant Science, 59:1, 70-76
10 Edwards, R., Larivé, J.-F., Mahieu, V. & Rouveiolles P. 2006. Well-To-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. Well-To-Tank Report, Version 2b. 140 p. + 3 Appendixes.

ulatuv tugev juurestik, väike külvisenorm ja ka haljasmassi kõlblikkus loomasöödaks¹¹. Punasel ristikul on kaks sorditüüpi: diploidne ja tetraploidne. Tetraploidsed punase ristiku taimed on kasvult võimsamad: varred jämedamad, lehed ja õienutid suuremad. Sellest tulenevalt on nende haljasmassisaak diploidsete taimede omast oluliselt suurem¹².

Energia kokkuhoid liblikõieliste kasvatamise näitel

Katsetulemuste üleviimisel praktikasse on oluline meeles pidada, et kohalikud mullastik-kliimaatilised tingimused mõjutavad liblikõieliste biomassi kujunemist olulisel määral ja energia kokkuhoid sõltub külvikorrast, liblikõieliste osatähtsusest selles ja ajalisest kestusest taimikus.

Potentsiaalne energia kokkuhoid väetiste kasutamisest on võimalik leida järgmiselt:

$$\sum N - \sum s - \sum N_{\min} \text{ (tabel 2).}$$

Järgnev analüüs baseerub 380-hektarilise seiretalu andmetel, kus kasutatakse minimeeritud harimistehnoloogiat. Mullastik varieerub suurtes piirides põldude vahel ja ka põllusiseselt. Igal mullal on iseloomulik orgaanilise süsiniku (huumuse-) sisaldus, millega on otseses sõltuvuses mulla lämmastiksisaldus. Mulla üldlämmastiku (N_{tot}) sisaldus on lineaarses sõltuvuses mulla huumusesisaldusest (Hu) ja kirjeldatav seosega:

11 Viil, P., Võsa, T. Liblikõielised haljasväetised 2005.

12 Tamm, S. 2007. Erinevad ristikuliigid maheviljeluses ja nende seemnekasvatuse. Põllukultuuride ja nende sortide sobivus maheviljeluseks. OÜ Vali Press, lk 48

$$N_{\text{tot}} = 0,047 \cdot Hu \% + 0,0366^{13}$$

Kuigi mineraalmulla künnikihi üldlämmastiku sisaldus võib olla 1 – 2%, siis selle omastatavus sõltub orgaanilise aine lagunemisel vabanevast lämmastiku kogusest ja on Eesti tingimustes umbes 1 – 3% aastas. Mida kõrgem on mullahuumuse sisaldus, seda suurem on ka mulla lämmastikuvaru. Seega on võimalik huumusesisalduse alusel hinnata muldade lämmastikväetiste tarvet.

Mulla orgaanilise süsiniku sisalduse leidmiseks kasutati mudelit¹⁴, mille rakendamiseks vajalikud sisendandmed on olemas suuremõotkavalisel digitaalsel mullastikukaardil – huumushorisoni tüsedus, mulla liik, lõimis, juhuslikud efektid. Teades mulla orgaanilise süsiniku sisaldust on võimalik leida huumusesisaldus. Automorfsete muldade huumuse keskmine süsiniku sisaldus on 58%.

Seiretalu põllupiiride digitaliseeritud kaardi sidumine Eesti digitaalse mullastiku kaardiga võimaldas teha väljavõtte kõigi põldudel esinevate muldade kohta (**joonis 7**). Planeeritava saagikuse määramisel on lähtutud senisest saagikustasemest ja katsetalu mullastikust. Lõimiselt domineerivad katsetalus saviliiv- (78%) ja kerged liivsavimullad. Valdavad mulla liigid

13 Roostalu, H., 2008. Agromajanduslikud riskid taimekasvatuse ja nende leevendamise võimalused. Tartu Põllumeeste Liit. Lk 112.

14 Suuster, E., Ritz, C., Roostalu, H., Kölli, R., Atover, A. 2012. Modelling Soil Organic Carbon, Concentration of Mineral Soils in Arable Land Using Legacy Soil Data. European Journal of Soil Science. V 63, p. 351-359.

Tabel 2. Näidis liblikõieliste kultuuride arvel kokkuhoiu võimaluste leidmiseks talu tasandil

	Planeeritud saak	Vajalik N planeeritud saagi saavutamiseks	Mullast vabanev ja taimedele omastatav N	Liblikõieliste järelmõju N	Vajadus anda mineraalväetistega
Nisu	x_1	N_1	s_1	z	$N_{\min 1} = N_1 - s_1 - z$
Rukis	x_2	N_2	s_2	z	$N_{\min 2} = N_2 - s_2 - z$
Raps	x_3	N_3	s_3	z	$N_{\min 3} = N_3 - s_3 - z$
...	... x_n	... N_n	... s_n	z	$N_{\min n} = N_n - s_n - z$
Kokku		$\sum N$	$\sum s$		$\sum N_{\min}$



Joonis 7. Seiretalu valitud põldude asukohaskeem mullaliikide areaalidega

on leostunud, leetjad ja analoogsed gleistunud (52%) ning näivleetunud ja analoogsed gleistunud mullad (30%). Leostunud ja leetjaid muldi peetakse oma omadustelt parimateks taimekasvatuse seisukohalt.

Antud seiretalu põllumuldade orgaanilise süsiniku kaalutud keskmine sisaldus on 1,4% (huumuse sisaldus vastavalt 2,4%), mis viitab madalale sisaldusele. Lähtudes väetussoovitustest ei võimalda see teha täiendavaid mahaarvestusi planeeritava saagi tagamiseks vajamineva lämmastiku koguselt (**tabel 3**).

Ekstrahheeruva fosfori sisaldus põllumuldades on vastavalt keskmine kuni väga kõrge ja kaaliumisisaldus valdavalt kõrge. Planeeritavate saakide saavutamiseks vajalik lämmastiku ko-

gus on 46,5 tonni, mis energias väljendades on 636 MWh (**tabel 4**).

Seades eesmärgiks, et liblikõieliste (punase ristiku) allakülv tehakse 35% kogu pinnast ja võttes aluseks, et liblikõielistega asendatav lämmastiku kogus esimese aasta järelkultuurile on 70 kg/ha, siis võimalik kokkuhoid talu tasandil oleks 124 MWh ehk 0,3 MWh/ha.

Arvestades, et ühe hektari harimiseks tehtavad otsesed ja kaudsed enrgiakulud on umbes 2,36 MWh, siis liblikõieliste arvel on võimalik kokku hoida 14%. Talu kogu mineraalse lämmastikväetise vajadusest moodustab see 23%. Füüsilise väetiskogusena on kokkuhoid 24 kg N/ha kogu pinna keskmisena.

Tabel 3. Seiretalu kasvatatavad kultuurid, planeeritav saagikus ja selle tagamiseks vajalik lämmastiku kogus

Kultuur	Kasvatatavad kultuurid, ha	Planeeritav saagikus, t/ha	Vajalik N, kg/t	N, kg/ha	Kogu N, t
Talinisu	95	5,5	27	149	14,1
Taliraps	11	4	60	240	2,7
Suvinisu/oder	129	4,5	30	135	17,4
Kaer	18	6	20	120	2,2
Suviraps	84	3	40	120	10,0
Liblikõielised	40	-	-	-	-
Kokku	377	-	-	123	46,5

Tabel 4. Energia kokkuhoid punase ristiku allakülvil (35 % pinnast, 130 ha) eeldusel, et asendatava lämmastikväärtise ekvivalent on 70 kg N/ha.

Energia	Planeeritava saagikuse saavutamiseks vajalik N	N mullast	Liblikõielistega asendatud N	Mineraalse N-ga vaja katta
MWh	634	93	124	417
MWh/ha	1,68	0,25	0,3	0,48

Vahekultuuride kasvatamine

Üks võimalus lämmastiku leostumist vähendada on kavandada külvikord nii, et osa väljast oleks talvel taimeistikuga kaetud. Taliteravilja ja mitmeaastaste heintaimede kõrval on võimalus kasvatada ka vahekultuure (nn püüdjad kultuurid). Vahekultuurid võivad siduda kuni 200 kg N/ha ja seeläbi vähendada võimalikku leostumist ja denitrifikatsiooni.

Lämmastiku omastamine sõltub kasvatatavast vahekultuuri liigist, külviajast (mille määrab eelkultuuri koristusaeg), taimedele omastatava lämmastiku sisaldusest mullas ja ilmastikust. Vahekultuuride külviaeg on tavaliselt hilissuvel. Vahetult enne külmade tulekut küntakse need mulda. Enamlevinud vahekultuurid on ristõielised (õlirõigas, valge sinep, raps, rüps), kuid ka rukis, itaalia raihein ja keerispea. Eesti Maaülikoolis läbi viidud katsete põhjal on väikseima biomassi moodustamise võimega itaalia raihein ja rukis. Samuti on lämmastiku sidumine nende puhul väiksem kui rist- ja liblikõielistel kultuuridel. Ristõielistest vahekultuuridest võib efektiiv-

semateks pidada õlirõigast ja valget sinepit, mis moodustavad suurema biomassi, millega viiakse mulda ka suurem kogus toitaineid. Suurima lämmastiku koguse viivad mulda liblikõielised, nende miinuseks on aga suur külvisenorm ja sellega kaasnevad suured rajamiskulud.¹⁵

Toitainete ringluse maksimeerimine talu tasandil

Kõik orgaanilised jäätmed, mis tekivad, on taaskasutatav ressurss. Taimse, loomse või tööstusliku päritoluga orgaanilised väetised viiakse mulda kas otse või töödeldult. Orgaaniliste väetiste (tahe- ja vedelsõnnik, reoveesete, kompostid jm) kasutamine aitab parandada mulla struktuurist, mis omakorda parandab mulla füüsikalise-keemilisi omadusi ning vee- ja õhurežiimi.

Orgaanilise väetise keemiline koostis määrab tema sobivuse väetisena. Toitainete sisaldused erinevates orgaanilistes väetistes varieeruvad

¹⁵ Talgre, Liina; Lauringson, Enn; Makke, Arvo; Lükko, Merilin; Nurm, Liis (2011). Vahekultuuride biomassi moodustumise ja toitainete sidumise võime. Jüri Kadaja (Toim.). Agronoomia 2010/2011 (53 - 58). Saku: Rebellis

suurtes piirides, sõltudes päritolust, niiskuse sisaldusest, lagunemisastmest jne. Võimalik energia kokkuhoid nende kasutamisest saab tulla nii makro- kui mikroelementide arvelt sõltuvalt jäätme liigist ja keemilisest koostisest. Kuigi fosfor moodustab kogu taimekasvatuse energiasisendist suhteliselt väikese osa, on fosforimaak taastumatu loodusvara ja hetke varude ja kasutustempo juures jagub seda 50 – 100 aastaks.^{16,17,18}

Sõnnikus sisalduva fosfori efektiivsem kasutamine on aktuaalne. Sellealased uuringud toimuvad Eesti ja Soome osalusel *Baltic Manure* projekti raames. Projekti tulemusel pakutakse välja keskkonnasõbralikke sõnnikukäitluse ja laotuse tehnoloogiaid. Sõnniku ressurss paikneb üldjuhul regionaalselt. Intensiivse loomakasvatusega piirkondades on probleemiks sõnniku ja lägaga mulda viidavate toitainete liig, kuid piirkondades, kus domineerib vaid taimekasvatus tuleks mullaviljakuse säilitamiseks pöörata tähelepanu tööstuslikele orgaanilistele jäätmetele. Enamus Eestis tekkivast veisesõnnikust on vedel (läga), mille toiteelementide sisaldused on keskmiselt 4 kg/m³ N, 0,6 kg/m³ P ja 2 kg/m³ K. Ka reovee settemuda on oma keemiliselt koostiselt arvestatav toiteelementide allikas (N ja P sisaldused varieeruvad keskmiselt vahemikus 5,5 – 6 kg/t kuivaine kohta ja 2,5 – 3 kg/t kohta) mis teatud tingimustel on lubatud kasutada ka põllukultuuride kasvatamisel¹⁹.

Jätkusuutliku põllumajandusettevõtte üheks eesmärgiks peaks olema toitainete ringluse

maksimeerimine ettevõtte siseselt. Ühelt poolt tuuakse toiteelemente sisseostetavate väetistega ja söödaga sisse ning teiselt poolt viiakse saagi realiseerimisel neid ringlusest välja. Ainuüksi taimekasvatusega tegelevatel ettevõtetel on toiteelementide bilansi tasakaalus hoidmiseks oluline väljastpoolt talu piire neid sisse tuua, et tagada positiivne bilanss.

Talus tekkivad jäätmed on erineva iseloomuga – puit (saepuru jne), põhk, jäätmaade hein, muru niited, sõnnik, läga jne. Vastavalt nende omadustele peaks valima kas töötlemise viisi või kasutama otse väetusainena. Kasutamine töötlemata kujul võib teatud tingimustel põhjustada keskkonnareostust ja toiteelementide kadusid. Võimalikud töötlemise viisid on biogaasi tootmine (anaeroobne kääritamine), jäätmete hapnikuta keskkonnas põletamine ehk pürolüüs, kompostimine jm. Biogaasi tootmine ühelt poolt täidab taastuvaenergia tootmise eesmärki ja teiselt poolt on selle tootmisjäák, digestaat, väärtuslik väetusaine. Orgaaniliste väetistega mulda viidavate mikroelementide tähtsust ei tohiks alahinnata. Saagikusele ei pruugi need mõju avaldada, kuid on hädavajalikud tasakaalustatud toitumise juures.

Kompostimine on üks odavamaid orgaaniliste jäätmete stabiliseerimise võimalusi. Mulla huumuse sisalduse tõstmise kõige kiirem ja efektiivsem viis on mulda viia juba kvaliteetsed ja stabiilset orgaanilist ainet. Kvaliteetne kompost on kõrge huumuse sisaldusega (stabiilsed süsiniku ühendid) ja neutraalse pH-ga materjal. Valmis komposti mikroobikooslus on väga mitmekesine.

Kui väiksemahulist kompostimist on enamusi aiapidajaid rakendanud, siis suuremahuline kompostimine nõuab juba suuremaid investeeringuid. Sõltuvalt tüübist on investeerimise vajadus erinev – staatiline (konteinerite, trumlite soetamise vajadus), pidev (vaaludes, aunades – segurite, purustite jm soetamine ja piisava sobiva pinna

16 Steen, I., 1998. Phosphorus availability in the 21st Century: management of a nonrenewable resource. *Phosphorus and Potassium* 217, 25–31.

17 Smil, V., 2000b. Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences. *Annual Review of Energy and the Environment* 25, 53–88.

18 Gunther, F., 2005. A solution to the heap problem: the doubly balanced agriculture: integration with population. Available: <http://www.holon.se/folke/kurs/Distans/Ekofys/Recirk/Eng/balanced.shtml>.

19 Reoveesette põllumajanduses, haljastuses ja rekultiveerimisel kasutamise nõuded. Määrus. RTL 2003, 5, 48

olemasolu). Talu tasandil on lihtsaim viis aunas või vaalus kompostimine. Seda viisi rakendatakse mitmes Euroopa riigis, kus komposti vaalud rajatakse põllu serva. Kuna väikeste põllumajandusettevõtete orgaaniliste jäätmete ressurss on piiratud, siis oleks üheks võimalikuks lahenduseks teha koostööd kohalike omavalitsuste ja ettevõtetega, kellel tekib orgaanilisi jäätmed.

Orgaanilised materjalid, mis on suure tselluloosi sisaldusega ei ole eraldi sobivad kompostimiseks või biogaasi (metaani) tootmiseks, küll aga sobivad pürolüüsiks (sisuliselt on tegu orgaanilise materjali söestamise kõrvaltoodanguga, mis saadakse suletud tingimustel hapniku juurdepääsuta kuumutamisel 300 – 700 °C juures).

Pürolüüsi produktideks on gaas, soojus ja **biosüsi** (mullaomaduste parandaja kui ka taastuvenergia tootmine). Nimetus biosüsi tuleneb asjaolust, et seda kasutatakse põllumajanduses. Biosöe positiivne mõju tuleneb peamiselt kahest omadusest: 1) äärmiselt suur toiteainete ja teiste ühendite sidumise võime (**adsorptsioon**) ja 2) äärmiselt suur vastupidavus (**stabiilsus**). Biosöe kasutamine põllumajanduses on ajenda-

tud mitmest keskkonnaprobleemist: 1) muldade degradatsioon ehk mullaomaduste halvenemine; põhjavee saastatus kemikaalidega; kliima soojenemine.

Biosüsi võib tänu oma stabiilsele keemilisele struktuurile püsida mullas aastatuhandeid. See omadus võimaldab biosütt kasutada kliimamuutustega võitlemise vahendina. Biosöe mõju mullale tuleneb tema füüsikalise-keemilistest omadustest nagu 1) poorus, millest sõltub tema veehoiuvõime, 2) pinnalaengust, mis määrab milliseid ioone biosüsi mullast seob, 3) suurest eripinnast, mis loob soodsad tingimused mikroorganismidele.

Biosüsi ei pruugi olla ise toitainete allikaks, mistõttu ei võimalda selle kasutamine otseselt mineraalväetiste arvel kokku hoida, küll aga tema mullaomadusi parandav mõju aitab eeldatavalt vähendada toitainete kadusid leostumise ja lendumise (sh kasvuhoonegaaside emissiooni vähendamise) näol ning muuta väetiste kasutamine efektiivsemaks. Seeläbi omab see kaudset mõju ka mineraalväetiste energia kokkuhoiule.

Energia kokkuhoid mineraalsete väetiste kasutamisest saab tulla:

- Taime vajadusi ja mulla omadusi arvestava väetamise kaudu.
- Otseselt liblikõieliste taimede kasvatamisest (N väetiste kokkuhoid):
 - liblikõieliste kultuuride allakülv annab võrreldava efekti puhaskülviga,
 - sõltuvalt liblikõielise liigist on mineraalse lämmastikväetise asendatud kogus esimese aasta järelkultuurile 17-100 kg N/ha. Suurim efekt punasel ristikul ja mesikal,
 - liblikõieliste kevadine sissekünd annab suurema efekti võrreldes sügisese sissekünniga.
- Toitaineterikaste orgaaniliste jäätmete kasutamisest.
- Mullaomaduste parandamisest orgaanilise aine sisalduse tõstmisega (kaudne mõju, tänu väetiste efektiivsuse suurenemisele ja tänu väiksematele kadudele).

Masinate kütusekulu kokkuhoiu võimalused

Jukka Ahokas, Hannu Mikkola

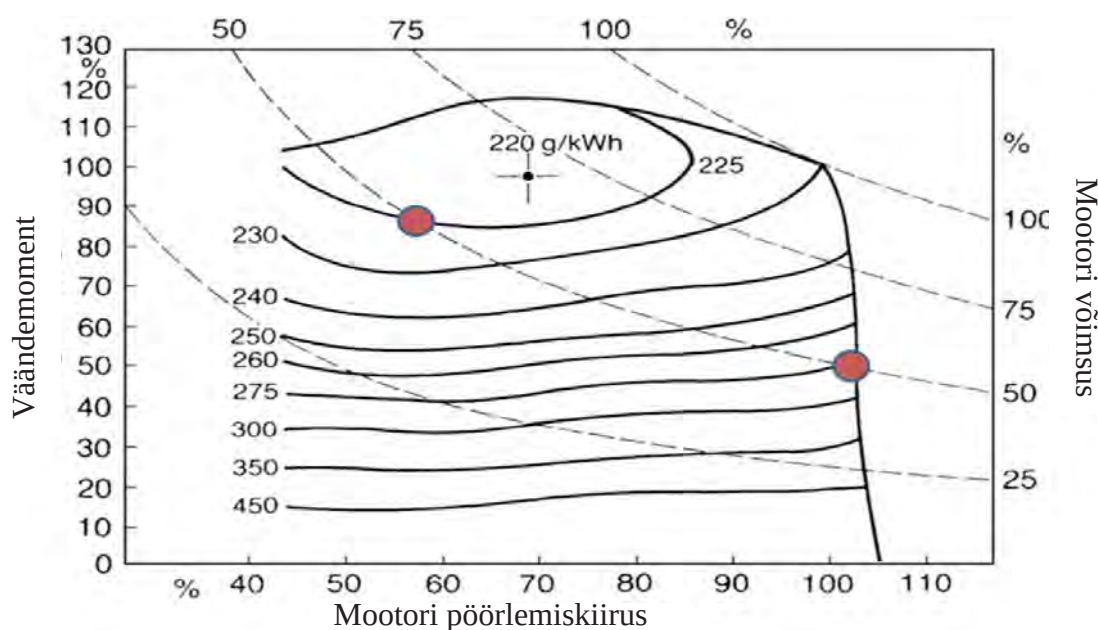
Põllutööde kütusekulu mõjutavad kõige enam kolm tegurite rühma, mis seostuvad traktori, põllutöömasina ja traktoristiga (masinajuhi-ga). Traktoril ja põllutöömasinal on selles kausis suur roll, kuid sageli võib kütusekulu veelgi enam mõjutada traktoristi sõiduviiis ja masinate häälestus (reguleerimine).

Traktorite ja põllutöömasinate mootorid

Kaasaegsetes traktorites ja põllutöömasinates kasutatakse eranditult diiselmootoreid, mistõttu antud tekstis lähtutakse samuti diiselmootoritest. Traktorimootorite kasutegur kajastub kütuse erikulus. Kütuse erikuluks on ühe kilovatt-tunni (kWh) töö tegemiseks vajalik kütuse kogus grammides. Mida madalam on kütuse erikulu, seda parem on mootori kasutegur. Traktorimootorite kütuse erikulu jääb nominaalvõimsuse korral vahemikku 210 – 280 g/kWh. Parim ja halvim

mootor võivad erineda selle näitaja poolest kuni 30% ning mootorite vaheline kütusekulu erinevus peaks seega jääma samasse vahemikku. Antud hinnang kehtib ainult nimikoormuse juures, millisel mootor töötab tegelikult harva.

Joonisel 8 on esitatud diiselmootori jõudlusandmete tüüpilisi seoseid. Kasutades mootori suurimat võimsust (mootori võimsus on 100%), kulub 230 g kütust tehtud töö iga kilovatt-tunni (kWh) kohta. Kui mootori võimsust rakendatakse vaid osaliselt, suureneb kütuse erikulu koormuse vähenemisel kiiresti. Seega, kui mootori koormatus on (nimivõimsust arvestades) madal, jääb ka kütusekasutuse efektiivsus madalaks. Mootori pöörlemiskiiruse mõju näitena madalamal koormusel on graafikul punaste punktidega tähistatud 50% nimivõimsusest arendava mootori kütusekulu erinevatel pööretel. Kui täisgaasil on mootori kütusekulu 275 g/kWh, siis pöörete arvu vähendamisel 60%-ni ulatub kütusekulu



Joonis 8. Mootori kütusekulu (g/kWh) sõltuvalt jõudlusarakteristikute suhtelistest muutustest (allikas: Kunze RF. Das Neue Traktorlexikon. Landwirtschaftsverlag GmbH, 48084 Munster, 4. Auflage. 175 p)

225 g/kWh. Seega on sama koormuse juures täisgaasil töötades kütusekulu 22% suurem.

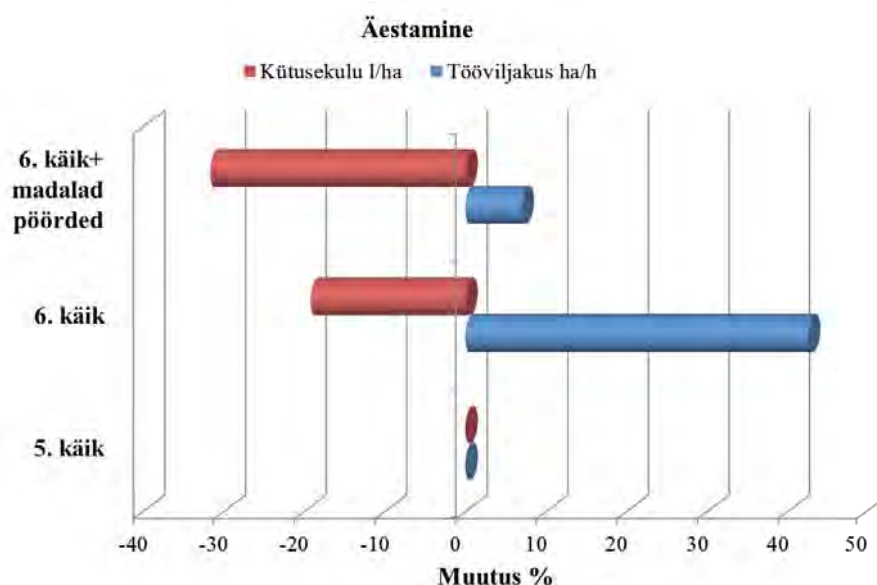
Mida suurematel pöörlemiskiirustel mootorit kasutatakse, seda enam kulub kütust mootori hõõrdetakistuse ning gaasisegu sisestamisest ja heitgaaside väljutamisest tekkivate kadude ületamiseks. Kasutades madalamaid pöördeid, väheneb neile kadudele kuluva kütuse osa ja suureneb mootori ökonoomsus. Sõiduautes on käikude arvu pidevalt suurendatud. Pikka aega kasutati neis ainult nelja erinevat käiku, kaasaegsetes autodes on aga käikude arvuks enamasti viis või kuus. Sõiduaute käikude arvu on eelkõige suurendatud selleks, et maanteel sõites saaks mootori pöörlemiskiirust alandada ja niiviisi vähendada kütusekulu.

Traktorite ja põllutöömashinate liikumiskiiruse määrab enamasti sooritatava töö iseloom. Kui töö laabub kergesti, siis saab kasutada kõrgemat käiku, vähendades mootori pöörlemiskiirust nii, et liikumiskiirus jääb ligikaudu samaks. Kütuse kokkuhoiu rusikareegel on: "alanda pöörlemiskiirust, kasuta kõrgemat käiku". Kütuse sääst oleneb sellest, kui suurel määral mootorit koormatakse. Mootori koormatusel 50 – 75% ulatu-

ses nimikoormusest, võib kütusesääst ulatuda 10 – 20%. Vanemat tüüpi traktorite puhul on vastava valiku tegemine traktoristi otsustada. Uuemat tüüpi (astmeliste või sujuva regulatsiooniga) automaatkäigukastiga traktorites saab sõidukiiruse valikut automatiseerida, lähtudes minimaalsest kütusekulust.

Joonisel 9 on esitatud näide ülalkirjeldatud põhimõtet illustreerivast katsest, mille käigus äestati põldu kolme erinevat sõiduviisi kasutades. Esmalt sooritati töö viienda käiguga täisgaasil sõites. Kui vahetati järgmisele käigule (6. käik), suurenes tööviljakus ja vähenes kütusekulu ühe hektari kohta. Esimeses katses (5. käik) oli mootor vaid kergelt koormatud, mille juures kasutegur jääb madalaks.

Vahetades käiku (6. käik), võimsustarve kasvas ja mootor töötas ökonoomsemalt. Seetõttu suurenes ka tööviljakus ja kütusekulu ühele pinnahikule vähenes. Alandades kuuenda käigu kasutamise ajal mootori pöördeid selliselt, et liikumiskiirus jääb esimese katse omaga võrdseks (5. käik), jääb ka tööviljakus samale tasemele, kuid kütusekulu väheneb peaaegu 30%.



Joonis 9. Käigu ja mootori pöörlemiskiiruse mõju kütusekulule ning tööviljakusele äestamisel

Rehvide libisemine

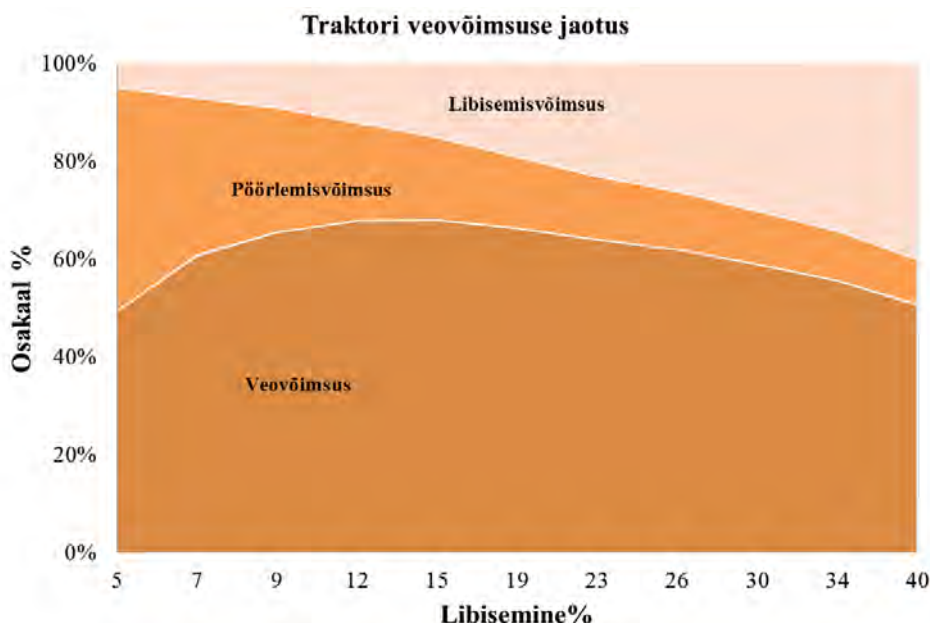
Vedudel kandub mootori võimsus rehvide kaudu üle maapinnale. Rehv survestab maapinda, kasutades seda liikumisel tugipunktina. Kui vajalik veojõud on suur, siis suureneb rehvide libisemine, põhjustades roobaste teket. Maapinna ja rehvi vahel kantakse üle kõige suuremat jõudu siis, kui libisemine on 10 – 20%.

Joonisel 10 on näide traktori veovõimsuse jaotusest selle eri komponentide vahel. Rehvide libisemise suurenemisel teatud tasemeni paraneb hõõrdumise arvel nende haakuvus pinnasega, kuid samas suureneb ka libisemisse kulutatava võimsuse osakaal. Tavalistes põllutingimustes kandub rataste telgedelt võimsust pinnasele üle kõige paremini siis, kui libisemine on 15% ringis. Kui libisemine ületab 20%, siis tekivad pinnasesse veoropad (rehv kaevub maasse), mis rikub mulla struktuuri. Traktorile võib paigaldada libisemise mõõtmiseks seadme, mis on kahjuks suhteliselt kallid. Kogemuslikult saab libisemist hinnata kõige paremini rehvi jälgede põhjal. Siis kui rehvimuster on jäljes peaaegu terviklikult eristatav, on libisemine olnud väike. Kui rehvi-

mustri kõrgendite vaheline ala on tervikuna läbi lõigatud, siis libisemine on üle 20% ja rehvi jätab maasse libisemisroopad. Libisemine on optimaalne siis, kui jäljes pole rehvimuster enam selgesti eristatav ning kõrgendite vaheline ala on vaid osaliselt läbi lõigatud.

Suurt libisemist saab vähendada järgmiselt:

- Vähendatakse veotakistust töösügavuse piiramise teel. Vahel õnnestub see ka töökiiruse vähendamisega.
- Kontrollitakse põllutöomasina lõiketerade seisundit ja nende häälestust. Nürid terad ja vale häälestus suurendavad veotakistust ja vähendavad jõu ülekannet töomasina ja traktori vahel.
- Traktoril suurendatakse lisaraskust. Kui raske veol kasutatakse lisaraskust ja libisemine on väike (rehvi jäljed pinnases on selgesti eristatavad), siis tuleb lisaraskust vähendada. Liiga suur lisaraskus suurendab ka veeretakistust ja siis suureneb ühtlasi traktori enda liikumiseks vajalik võimsus (omaliikumise võimsus).
- Reguleeritakse rehvides olevat rõhku. Põl-



Joonis 10. Traktori veovõimsuse jaotus

lutöödel võib kasutada madalamat rõhku, mille tulemusel rehvi haakuvus pinnasega on efektiivsem ja libisemine väheneb. Põllutööriistaga (näit pööratava kaksikadraga) liikumiseks teedel tuleb kasutada kõrgemat rehvirõhku kui töötamiseks põllul (näit künnil), mil rõhku võiks vähendada. Seega on mõistlik rehvirõhku reguleerida nii põllule sõiduks kui ka põllutöödeks.

Libisemise osa on märkimisväärselt suur siis, kui rakendatakse suurt veojõudu. Kergematel töödel on libisemine väike ja sellele pole vaja erilist tähelepanu pöörata. Libisemine mõjutab nii töö tootlikkust kui ka kütusekulu. Näiteks 5% libisemise vähendamine suurendab töökiirust veidi üle. Kuna paraneb tootlikkus ja samal ajal väheneb libisemine, siis väheneb üldine kütusekulu (l/ha) kokku umbes 10%. Libisemine mõjutab ka mulla struktuuri. Suure libisemise korral jäävad põllule roopad, mis tihendavad mulda ja vähendavad kultuuride saagikust.

Põllutöömasinate seisund ja häälestamine

Põllutöömasinate seisund ja häälestamine mõjutavad nende võimsustarvet. Nürinenud terad suurendavad takistust, vähendavad raskusjõu ülekandumist ja töö kvaliteeti. Suurenenud takistus ja vähenenud raskusjõu ülekandumine suurendavad kütusekulu ja rehvide libisemist. Erinevad töömasinad vajavad reguleerimist erineval määral. Künd on tüüpiline raske töö, mille puhul õige reguleerimine tagab nii hea töö kvaliteedi kui ka kütusekulu vähenemise. **Joonisel 11** on toodud näide adra reguleerimise mõjust veotakistusele. Adra kallutamisel künniviilu suunas suureneb märgatavalt künnitakistus. Näiteks 5°-se kalde korral on künnitakistus üle 30% suurem kui nullkraadise kaldenurga juures. See põhjustab suuremat võimsustarvet ja kütusekulu.

Maaharimismasinate töösügavus mõjutab

künnitakistust ja veovõimsust. **Joonisel 12** on toodud näide künnisügavuse mõjust künnitakistusele. Kui savistel muldadel suurendatakse künnisügavust 20 cm-lt 24 cm-ni, siis kasvab takistus üle 60%. Põldude kündmisel kasutatakse enamasti 20 – 25 cm künnisügavust. Kui künda sügavamalt, siis kasvab takistus märgatavalt.

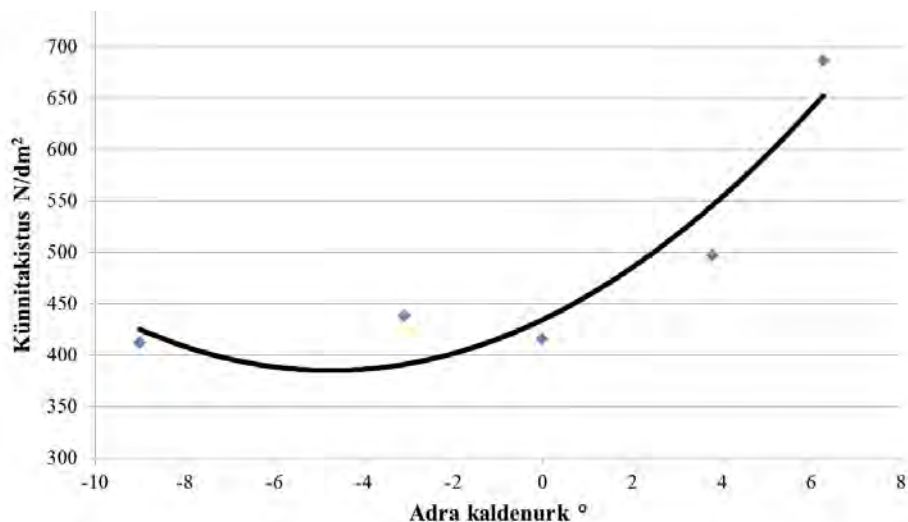
Masina häälestamise ja töösügavuse õige valikuga saab juht mõjutada töomasina takistust ja võimsustarvet. Töösügavuse valikul tuleb aga alati lähtuda tööle esitatavatest nõuetest. Ülemäärane töösügavus suurendab takistust ja kütusekulu. Õige reguleerimisega on võimalik saavutada kümnetesse protsentidesse ulatuvat kokkuhoidu.

Põllutööde kasutegur

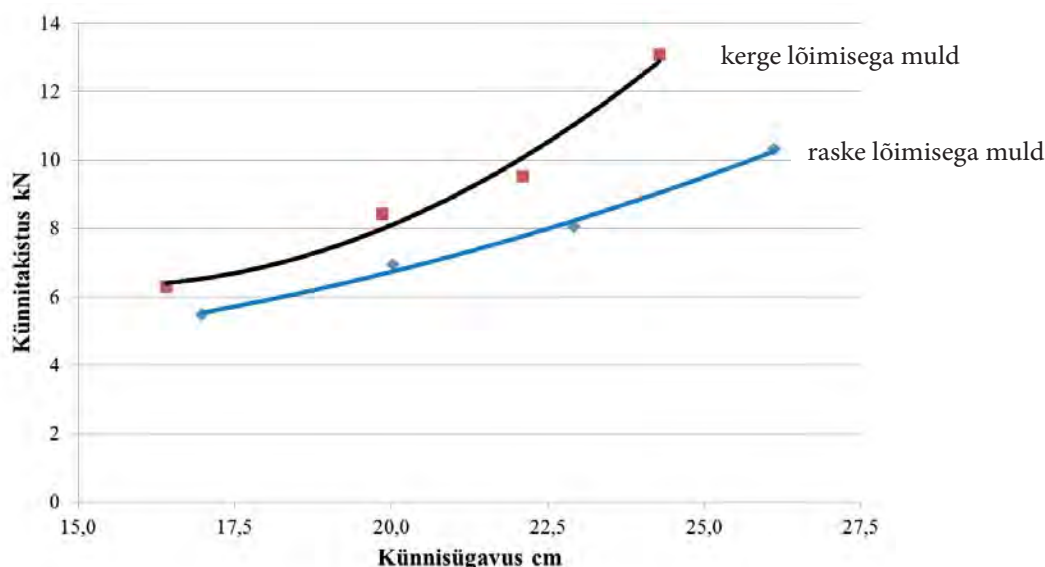
Põllutöid tuleks teha võimalikult suure kasuteguriga, kasutades maksimaalselt ära masina töölaist ja lühendades sellega läbitava tee pikkust. Kui näiteks nelja meetri laiuse äkkega äestamisel sõidetakse selliselt, et järjestikustel sõidukordadel põldu töödeldakse 15 cm ülekattega, siis on tegelikult töölaiuseks 3,7 m ja töö kasuteguriks 93%. Kui kasutatakse ära kogu töomasina laius, suureneb tööviljakus (ha/h) ja väheneb kütusekulu (l/ha). Täppisharimine võimaldab saavutada ligikaudu 100%-st kasutegurit. Siis aga tõstatub küsimus saadava kasu ja tehtava investeeringu omavahelisest suhtest.

Talupidamise korraldamine

Energiahinna kasvades tuleb energiakuluga üha enam arvestada. Parima tootmisviisi valikuga on võimalik töö tulemusi parandada ja selleks vajalikku energiakulu vähendada. Talupidamise korraldamisega saab samuti mõjutada kütusekulu. Tootmisviisi mõjust energiakulule on senini veel suhteliselt vähe andmeid. Vähemasti loomakasvatuses võib pidamisviis oluliselt mõjutada energiavajadust.



Joonis 11. Adra reguleerimise mõju künnitakistusele



Joonis 12. Künnisügavuse mõju künnitakistusele

Otsekülv

Maaharimiseks ja külviks saab rakendada erinevaid viise. Traditsiooniliselt valmistatakse künnijärgset maad külviks ette mitmete täiendavate tööoperatsioonidega. Osast neist saab aga loobuda, jättes näiteks ära künni või künnijärgse harimine enne külvi (minimeeritud harimine). Maaharimisest tervikuna loobutakse otsekülvi rakendamisel. Loobudes osast tööoperatsioonidest, väheneb kütusekulu ja suureneb tööviljakus. Minimeeritud mullaharimisel on võimalik kütust kokku hoida 30 – 50% ja otsekülvi kasutamisel 40 – 70%. Samas proportsioonis väheneb

ka tööde sooritamiseks kuluv aeg ja kasvab tööviljakus (ha/h). Joonisel 13¹ on võrreldud erinevate maaharimisviiside energiakulu. Harimisviisi valikut mõjutavad ka masinate hinnad. Otsekülvi rakendamine nõuab suuri investeeringuid ja sellest saadav kütuse sääst ei tarvitse katta tehtavate investeeringute kulusid.

Põldude seisund ja paiknemine

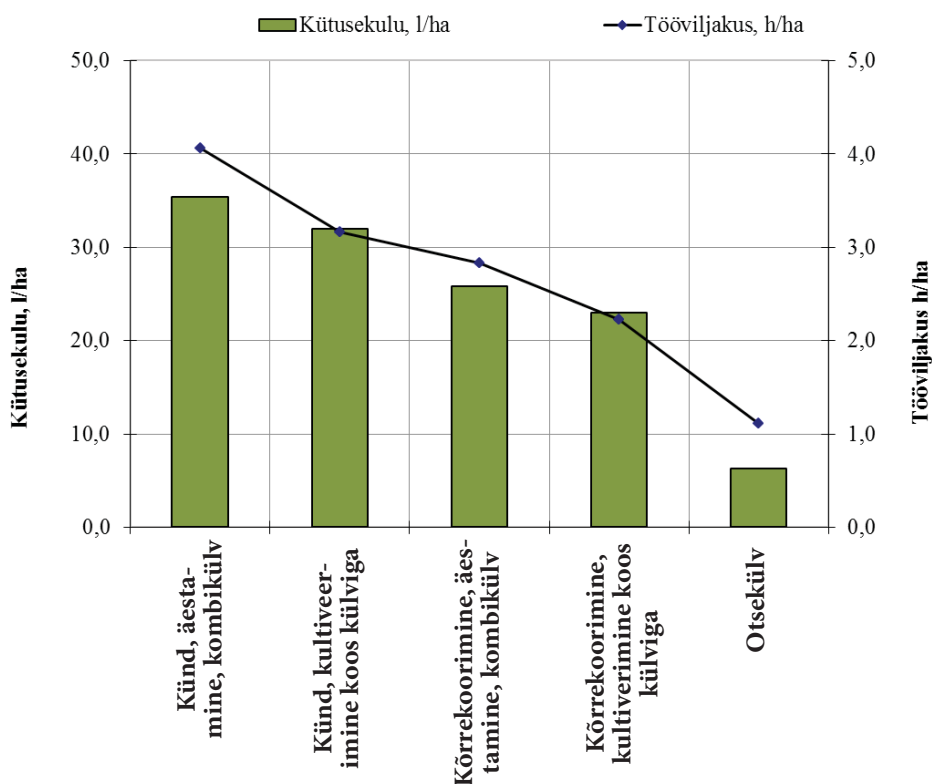
Põllu seisund mõjutab samuti kütusekulu. Niiskel pinnasel on liikumine raskendatud ja reh-

1 Danfors, B. 1988. Bränsleförbrukning och avverkning vid olika system för jordbearbetning och sådd. Jordbrukstekniska Institutet, Meddelande 420. 85 p.

vide libisemine suur. Tallatud (tihenenud mulda-dega) põllud võivad kümnete protsentide võrra suurendada maaharimismasinade veotakistust. Lisaks kütusekulu suurenemisele väheneb siis ka kultuuride saagikus.

Hajali paiknevad põllud põhjustavad täien-davaid sõite. Traktorid ja iseliikuvad põllutöö-

masinad ei ole ette nähtud pikkade vahemaade läbimiseks, nende sõidukiirused on väikesed ja sõidukulud suured (kütusetarve ulatub sageli 20 – 50 liitriini 100 km kohta). Taimekasvatases tuleks sellega kindlasti arvestada ja planeerida töid selliselt, et sõitudeks kulutatav aeg jääks võimalikult lühikeseks.



Joonis 13. Erinevate maaharimisviiside mõju kütusekulule ja tööviljakusele

Energiasäästu võimalused taimekasvatases:

- Väetiste tootmiseks vajatakse kõige enam energiat. Mineraalväetiste kasutamist saab vähenda lämmastikku siduvate taimede abil ja muutes toitaineringet efektiivsemaks.
- Põllutöödel oleneb kütusesääst oluliselt traktoristi oskustest: põllutöömasinate õige häälestuse, hooldamise ja õige sõiduviisi kasutamisega saab kokku hoida kümneid protsente kütust
- Kasuta traktori mootori madalaid pöördeid.
- Häälesta ja hoolda põllutöömasinaid regulaarselt
- Kasuta õiget töösügavust
- Alanda rehvides olevat rõhku pehmel põllul töötamiseks
- Talu juhtimine ja taimekasvatuseviisid mõjutavad samuti kütusekulu. Kütust võimaldab kokku hoida minimeeritud mullaharimise kasutusele võtmine. Isoleeri viljakuivati kuumad pinnad

Saagi säilivuse tagamine

Jukka Ahokas, Hannu Mikkola

Saak koristatakse suvel või sügisel ja seda tuleb sageli säilitada üle talve. Koristatud saagi niiskusesisaldus on enamasti selline, et töötlemata kujul kipub see riknema. Tuntuim töötlemise viis on saagi kuivatamine, mida kasutatakse kõige enam teravilja, õlikultuuride ja heina puhul. Teravilja müüakse peaaegu eranditult kuivatatuna. Säilitamisel peab vältima mikroobide arengut, mis põhjustab riknemist. Mikroobide elutegevust saab takistada järgmiste võtetega:

- Materjali kuivatamine. Mikroobid ei suuda kuiva materjali oma elutegevuseks kasutada.
- Materjali happesuse suurendamine. Silo ja vilja saab konserveerida happe lisamisega, mille tulemusel suurenenud happesus takistab mikroobide arengut.
- Materjali külmutamine. Seda moodust taludes üldjuhul ei kasutata.
- Materjali õhukindel hoidmine. Hapniku puudusel aeroobse mikrofloora elutegevus soikub, samas säilib materjal niiskena. Sellel põhineb sööda konserveerimine kilesse pallitamisel ja õhukindlate silotornide kasutamisel.

Kuivatamine

Teravilja ja heina säilitamiseks rakendatakse eelkõige kuivatamist. Kuivatit kasutatakse aastas lühiajaliselt, mistõttu kuivati soetamine on üheks suurimaks kuluartikliks. Energia kokkuhoiuga on kuivatisse tehtud investeerimiskulu raske katta. Samas on aga võimalik kuivatusprotsessi suhteliselt vähese lisakuluga muuta oluliselt energiasäästlikumaks. Selleks tuleb energiat kasutada efektiivsemalt ning kuivati termiliselt isoleerida.

Kuivatamistingimused

Teraviljast või heinast eemaldatakse niiskust kuiva ja sooja õhu abil. Terade või kõrte niiskus kandub kuivamisel õhku. Soojendatud õhk suudab siduda suuremat niiskusekogust ja kiirendab ühtlasi niiskuse ülekannet. Sooja õhuga kuivatamise tüüpiline temperatuur on 70 °C. Kuivatuse õhu soojavajadus sõltub välisõhu (kuivatisse imetava õhu) temperatuurist. Kui välisõhu temperatuur on 0 °C, siis tuleb selle temperatuuri tõsta 70 °C võrra. Kui see aga on 20 °C, piisab temperatuuri suurendamisest 50 °C võrra. Kuivatustemperatuuri õige valikuga (vastavalt välisõhu temperatuurile), on tavaliselt võimalik kokku hoida 10 – 20% energiat.

Kuigi algne niiskusesisaldus määrab õhu täiendava veesidumise võime, pole sooja õhuga kuivatamisel algsel niiskusesisaldusel olulist tähtsust. Õhu soojendamisel 70 °C-ni on selle suhteline niiskusesisaldus vaid mõni protsent ja kuivatusvõime alati hea. Soojendamata õhuga kuivatamisel on aga esialgse suhtelise niiskusesisalduse roll suur, sest õhku ei soojendata ja seetõttu ka selle veesidumise võime ei suurene. Liiga niiske õhk pole võimeline vett siduma ning juba kuivanud teravili võib kuivatamisel uuesti niiskuda.

Niiskusesisaldus koristamisel ja kuivatamisel

Kuivamisel eemaldatava vee hulk oleneb koristusjärgse ja kuiva materjali niiskusesisalduste vahest. Keskmist kütteõli kulu teravilja 3500 kg hektarisaagi kuivatamiseks 13%-se niiskusesisalduseni illustreerib **joonis 14**. Kui teravilja

koristusjärgne niiskusesisaldus on 25% asemel 23%, kulub kütteõli peaaegu 20 liitrit (25%) hektari kohta vähem.

Teravilja lõplik niiskusesisaldus mõjutab samuti kuivatusprotsessi energiatarvet. Müügivilja niiskusesisaldus peab jääma alla 14%, sest siis säilib vili pikaajalisel ladustamisel.

Joonisel 15 on näide temperatuuri ja niiskusesisalduse mõjust teravilja säilivusele. Joonisel on kujutatud siiski vaid üldist suundumust, sest säilivus sõltub ka teraviljaliikidest ja puhtusest. Samuti mõjutab säilivust niiskusesisalduse homogeensus (ühtlus kogu massis), kuna suure niiskusesisaldusega osadest kuivas viljas võib alata selle riknemise protsess. Joonisel 15 esitatule tuginedes võib oma talus kasutatavat söödavilja säilitada ilma riknemise ohuta ka müügivilja nõutavast niiskusesisaldusest kõrgemal tasemel. Jättes kuivatamisel lõpliku niiskusesisalduse 14%-st kõrgemaks, võimaldab see täiendavat energiasäästu.

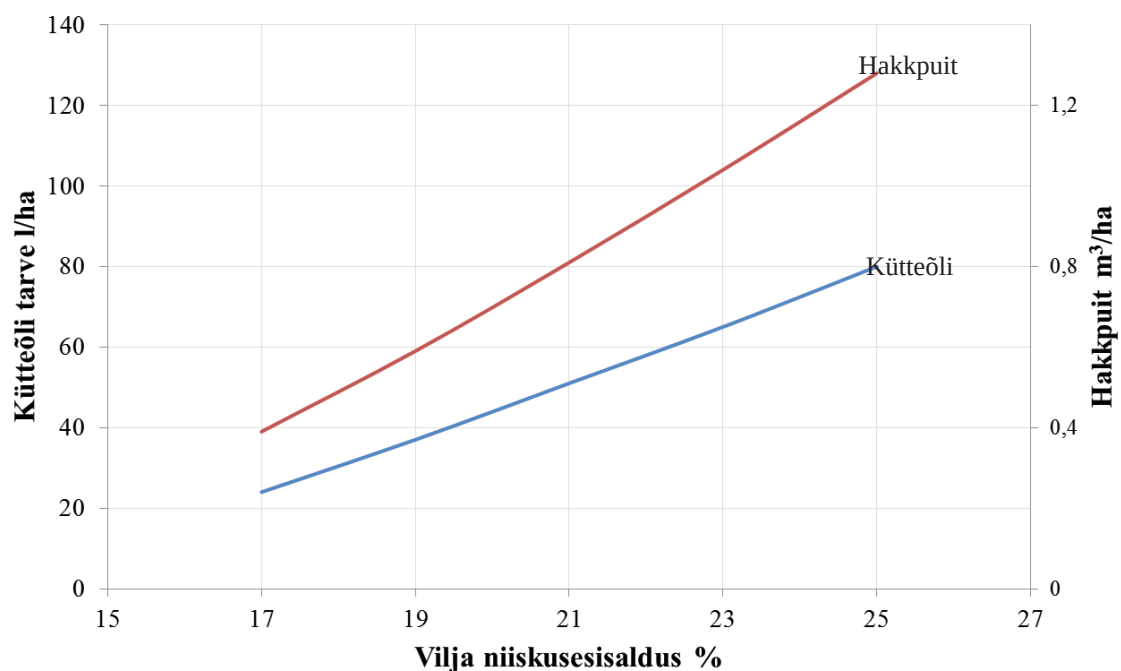
Joonisel 16 on näide sellest, kuidas kuivatist väljutatava vilja niiskusesisaldus mõjutab küt-

teõli kulu. Kui näiteks 21% niiskusesisaldusega teravilja kuivatada 14% niiskusesisalduseni, vajatakse hektarisaagi kuivatamiseks 46 l kütteõli. Kui aga sama vilja kuivatada 16% niiskusesisalduseni, siis on kütteõli kulu 33 l. Sellega säästetakse 13 l ehk 28% kütteõli.

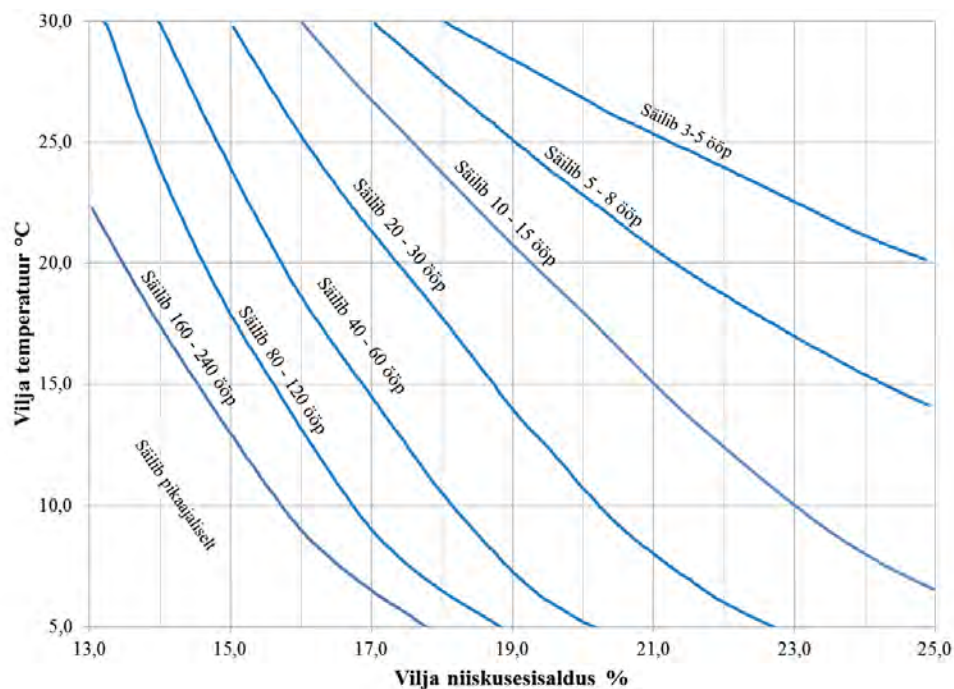
Kuivatustemperatuur

Kui teravilja kuivatatakse liiga kõrgel temperatuuril, kannatavad selle idanemisvõime ja pagaritoodete kvaliteet. **Joonisel 17** on skemaatiliselt esitatud terasisese temperatuuri mõju terade eluvõimele. Enamasti teravili ringleb kuivatamisel ja selle kokkupuude kuuma õhuga jääb suhteliselt lühiajaliseks, mistõttu terasisene temperatuur ei jõua tõusta kuivatava õhu temperatuurini. Seega saab kuivatamiseks kasutada joonisel esitatust ka mõnevõrra kõrgemat temperatuuri. Kui suures ulatuses seda ületada tohib, on olemas kuivati ehitusest ja vilja ringlemise kiirusest kuivatis.

Jooniselt nähtub, et kuiv teravili talub kõrgemat temperatuuri kui niiske vili. Märjast viljast eraldub kõrge temperatuuri toimel niiskus küll



Joonis 14. Teravilja kuivatamiseks vajalik kütteõli kulu sõltuvalt koristusjärgsest niiskusesisaldusest (saagikusel 3500 kg/ha)

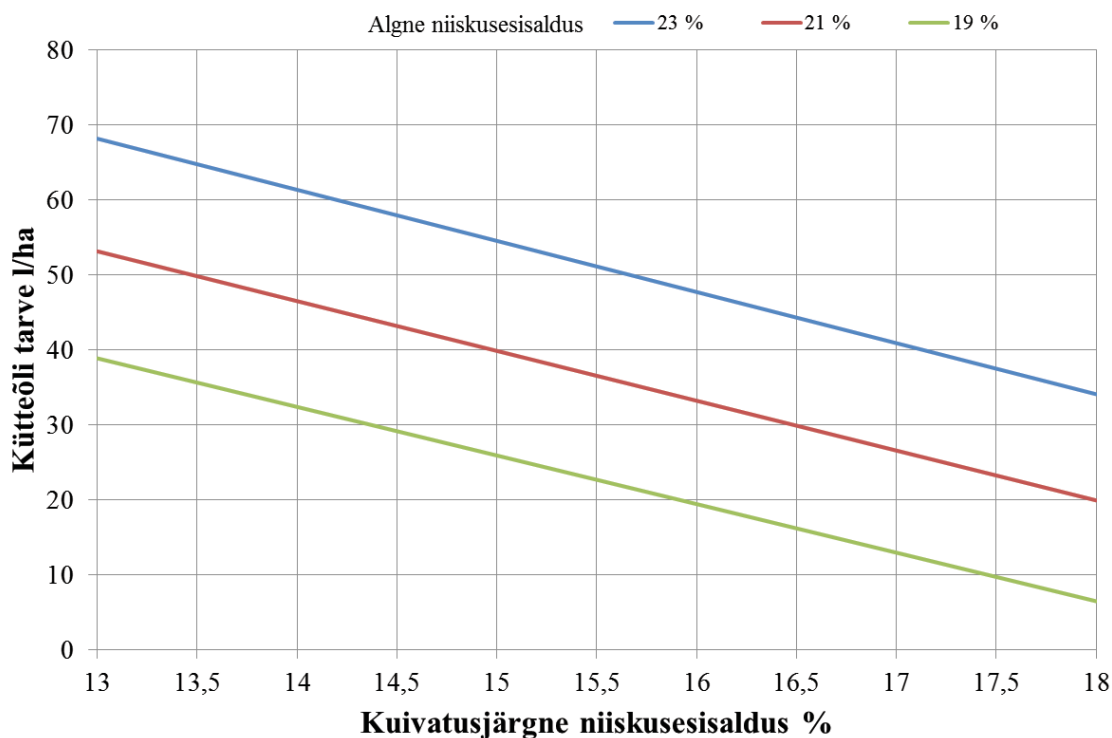


Joonis 15. Teravilja säilivus erinevate niiskusesisalduste ja temperatuuride juures

kiiresti, kuid siis saab terade struktuur kannatada ja need lõhenevad. Seega tuleks kuivatustemperatuuri reguleerida vastavalt niiskusesisaldusele. Söödateravili talub 100 – 120 °C temperatuuri,

enne kui selle söödaväärtus väheneb ning seda võib kuivatada seemne- või leivaviljast kõrgemal temperatuuril.

Kuivatamise temperatuur mõjutab omakor-



Joonis 16. Teravilja algse ja lõpliku niiskusesisalduse mõju 3500 kg hektarisaagi kuivatamiseks kuluva kütteõli vajadusele

da kuivati energiakulu. **Joonisel 18** on esitatud arvutuslikud tulemused ühe kilogrammi vee väljaurutamiseks vajaliku energia kohta, sõltuvalt kuivatustemperatuurist ja kuivatist väljuva õhu niiskusesisaldusest.

Kui näiteks kuivatustemperatuuri tõstetakse 70 °C juurest 100 °C-ni ja väljutatava õhu suhteline niiskusesisaldus on 80%, väheneb ühe kilogrammi vee väljaurutamiseks vajalik energiakulu 1,2 kWh-lt 0,8 kWh-le ning saadakse 33% energia kokkuhoidu. 110 °C kuivatustõhuga² sooritatud katsetes on reaalseks energiasäästuks osutunud 16 – 30%. Kuivatustõhu temperatuuri tõstmisel suureneb kuivati soojuskadu ja siis on otstarbekas kuivati soojuslikult isoleerida.

Kuivati soojuslik isoleerimine

Kuivatitel on palju kuumi metallpindu, mis ei ole soojuslikult isoleeritud. Kuivatustõhu temperatuur võib ulatuda 100 °C-ni, samas kui keskkonna temperatuur jääb 10 °C juurde. Sellisel

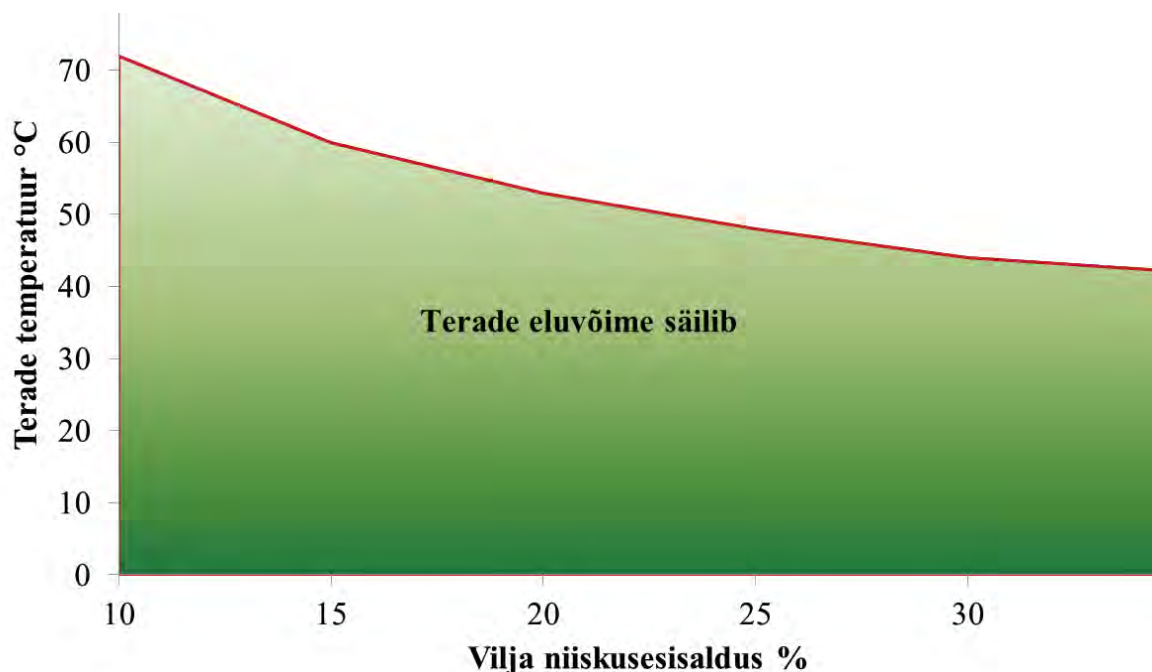
juhul on temperatuuride vahe 90 °C ning kuumadelt pindadel eraldub rohkesti soojust õhku.

Võrdluseks – korralikult soojustatud elumajade puhul jääb ka käreda pakase korral sise- ja välistemperatuuride vahe 40 – 50 °C juurde. Kuivati kuumade metallpindade kaudu toimuv soojuskadu võib olla kuni 300 – 500 W/m². Nende isoleerimisega on võimalik soojuskadu märgatavalt vähendada (**joonis 19**).

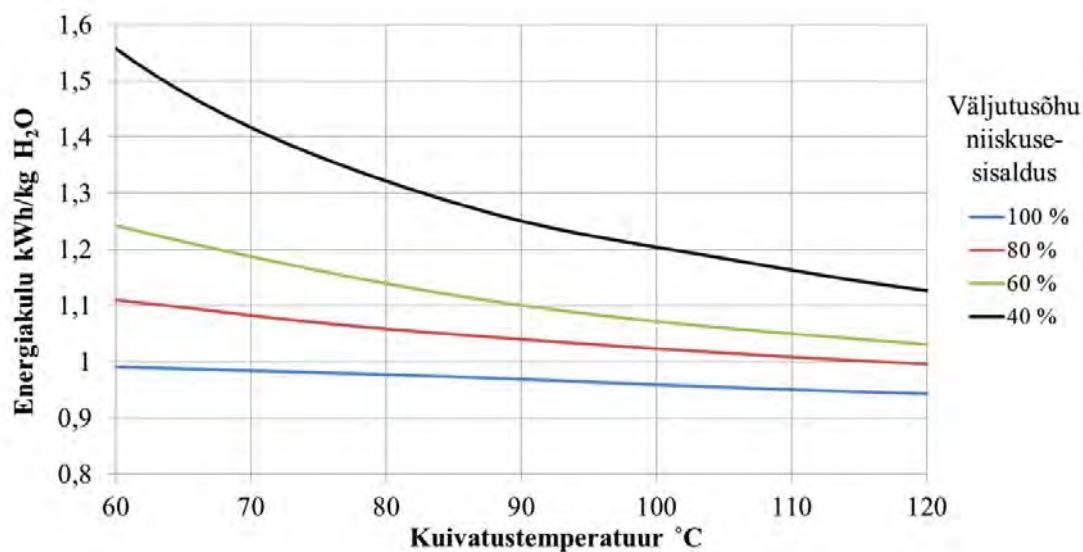
Kuivatiahju kuuma õhu kanal, kuivatuskambrite sisestusotsikud ja kuivati küljed tasub termiliselt isoleerida. Väljutustõhu kanalite isoleerimine kuivatustprotsessi ei mõjuta. Kuivatites sooritatud mõõtmiste põhjal vähendab isolatsioonikiht soojuskadu ja kütteõli kulu 10 – 30%. Samal ajal paraneb kuivati jõudlus ja lüheneb kuivatustsükkel.

Kokkuhoidu mõjutab olulisel määral veel õhukanali pikkus, sest pika kanali korral on soojuskadod suuremad. Kuivati isoleerimine on sageli majanduslikult tasuv ning sellega seotud töödega saab hakkama ka omal käel.

² Suomi et al. 2003. Viljan korjuu ja varastointi laajenevalla viljatilalla. Maa- ja elintarvike 31.



Joonis 17. Tera temperatuuri ja niiskusesisalduse mõju selle eluvõimele



Joonis 18. Arvutuslik kuivatustemperatuuri mõju viljast ühe kilogrammi vee väljaarustamiseks kuluvale energiakogusele

Kuivati seisund

Kuivati seisund ja selle kasutusviis mõjutavad samuti energiakulu. Kuivatuskambrite ja ühenduskohtade ebatihedused põhjustavad õhulekkeid. Ka liiga väheste teraviljapunkri täituvuse korral võib sealt kuivatuse õhku välja pääseda. Lekkinud õhk vilja kuivatamisel ei osale, tekitab energiakadu. Kuivati ahju seisundist oleneb selle kasutegur. Hoold tuleks kanda õliküttel toimivate ahjude pihustite korrasoleku ja vajaliku õhuhulga tagamise eest. Ahju tuleks regulaarselt puhastada sinna kogunenud nõest. Põlemisõhu õige koguse üle koldes saab otsustada leegi värvuse järgi. Hele ja valgustav leek on märk sellest, et õhku on liiga, samas kui tumepunane leek viitab õhu puudujäägile. Õige õhuhulga tagamise ja

põlemisprotsessi häälestamisega (juhul kui varasem häälestatus oli puudulik) saab kokku hoida kuni 15% kütteõli.

Saagi muud säilitusviisid

Saaki saab säilitada ka muul moel. Kuivatamise asemel võib säilimise tagamiseks kasutada hermeetilist mahutit ning happe või karbamiidiga konserveerimist. Sellisel juhul hoitakse kokku kuivatamisele kuluv energia. Samas ei tohi aga unustada, et konserveerivate lisaainete kasutamisel tekib vajadus täiendavate tööoperatsioonide järele, mis võib muuta tööprotsessi tülikamaks. Arvestada tuleb kindlasti aga sellega, et õhukindlalt või happeliselt konserveeritud märg vili võib talvel jäätuda. Samuti põhjustavad happe ja karbamiidi kasutamine seadmete korrosiooni.

Energiasäästu võimalused saagi säilitamisel:

- Isoleeri viljakuivati kuumad pinnad.
- Ära kuivata teravilja ülemäära, vilja lühiajalisel säilitamisel omaks tarbeks võib selle niiskuse-sisaldus olla kõrgem.
- Kasuta söödateravilja kuivatamiseks kõrgemaid temperatuure.
- Võimalusel väldi vilja kuivatamist öösel.
- Mõtle selle üle, kas ei annaks teravilja kuivatamist asendada mõne konserveerimise meetodiga.



Joonis 19. Kuivati kuumade metallpindade isoleerimise näide

Hooned

Jukka Ahokas, Mari Rajaniemi

Loomakasvatuse ja osalt ka taimekasvatuse jaoks on vaja hooned. Soojustatud hoonete kütmiseks vajatakse külma ilma korral soojusenergiat. Hoonete õige sisekliima tagamiseks tuleb neid ventileerida, milleks kulub elektrienergiat. Elektrit vajatakse ka valgustuseks ja seadmete käigushoidmiseks. Antud osas käsitletakse põllumajandushoonete üldiseid energiakulusid.

Kui hoone sise- ja välistemperatuurid erinevad, siis liigub soojus külmema temperatuuri suunas. Üldjuhul on tegemist hoonetest välja poole liikuva soojuskaoga, mida korvatakse kütmisega. Suvel esineb ka vastupidist olukorda, mil väljast sissepoole liikuv soojus võib hoones tekitada liiga kõrge temperatuuriga sisekliima. Soojusvahetus saab toimuda kolmel moel. Soojusjuhtivus võimaldab soojusel liikuda läbi piirete. Endaga kannab soojust kaasa ka liikuv õhk (ventilatsioon). Kiirguslikku soojust kandub keskkonda soojuskiirgurest, päikeselt või kollektitest infrapunase kiirgusena. Hoonete soojakadude põhjuseks on eelkõige läbi piirete toimuv soojusjuhtivus ja ventilatsiooniõhuga väljutatav

soojus. Kevadel ja suvel soojenevad hooned päikesekiirguse toimele.

Loomakasvatushooned

Loomakasvatushooned peavad vastama loomade heaolu nõuetele ning neis tagatakse loomade pidamisele ja tootmistegevusele sobilik olukord. Lisaks sellele tuleb neis arvestada ka töötavate inimeste vajadustega ning keskkonningimustega, mis tagavad hoonete korrasoleku ja säilimise. Nii näiteks võib hoonete konstruktisioone kahjustada õhu liigne niiskusesisaldus. Loomakasvatushoonete sisetemperatuurile, õhu niiskusesisaldusele, õhu liikumiskiirusele ja valgustatusele on kehtestatud soovituslikud normid.

Tabelis 5 on toodud normid loomakasvatushoonete gaaside sisaldusele, mis järgivad vastavaid rahvusvahelisi soovitusi^{3,4}. Eestis eraldi regulatsioone pole kehtestatud, vaid lähtutakse

3 Maatalouden tuotantorakennustan lämpöhuolto ja huoneilmasto. Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja -ohjeet. MMM-RMO C2.2

4 CIGR, Climatization of Animal Houses, Report of working group on climatisation of animal houses, Report of working group, Aberdeen, Scotland, 1984.

rahvusvahelistest normidest. Töötajate töökeskonnale esitatud nõuded (kaheksatunnise tööpäeva korral) lubavad loomadele kehtestatutest suuremaid kahjulike gaaside sisaldusi õhus.

Loomapidamise soovituslikud temperatuurid sõltuvad loomaliigist, loomade east ja karvkatte. **Tabelis 6** on esitatud soovituslikud temperatuuride ülem- ja alampiirid erinevate loomaliikide kohta. Liiga jahe temperatuur suurendab söödakulu ja vähendab toodangutaset. Liiga kõrge temperatuur võib loomadel põhjustada kuumastressi.

Õhu suhtelise niiskusesisalduse alampiiriks on 50%, millest madalama väärtuse korral suureneb õhu tolmusisaldus, kasvab hingamiseldite ärritatavus ja tekib naha kuivamise oht. Ülempiiriks loetakse 85%, millest kõrgemad niiskusesisaldused soodustavad puidu pehastumist ja metallkonstruktsioonide korrosiooni.

Loomade paiknemise alal peaks õhu liikumiskiirus talvel jääma alla 0,25 m/s. Suvel võib see olla suurem, sest liikuv õhk jahutab loomi efektiivsemalt. Vähendades loomakasvatushoones ventileeritava õhu mahtu, saab kokku hoida energiat. Kuid sellele seab piiri loomade heaolu. Ventilatsiooni ei tohi vähendada niisuguse tasemeni, mille juures sisekliima muutub nõuetele mittevastavaks.

Soojusjuhtivus

Soojusjuhtivuse kaudu liigub soojus läbi seinte, lae ja põranda. Seejuures sõltub piiretest läbiminev soojusvoog ehitismaterjalide soojus-

takistusest, ehitise gabariitidest ja temperatuuride vahet. Mida paremad on materjali isoleerivad omadused, seda väiksem on materjali läbiv soojusvoog. Pakane põhjustab suure temperatuuride erinevuse hoone ja väliskeskkonna vahel, mis omakorda suurendab soojuskadu. Suurte hoonete korral on piirete pindala suur, mistõttu on suur ka nende kaudu väljuva soojuse hulk.

Seinte soojusjuhtivus oleneb nende ehitusest. Kõige enam mõjutab soojusjuhtivust seina isolatsioonimaterjal ja selle paksus. Juhul kui seina ehitamisel pole kasutatud korralikku tuuletõket, võib soojus läbi seina kanduda ka õhuvooluga, sest tugev tuul on võimeline isolatsioonikihist läbi puhuma. Niiskus võib materjali isoleerimisvõime hävitada. Kui niiskus pääseb soojusisolatsiooni sisse ja sinna kondenseerub, kaotab materjal suures osas isoleerivad omadused ja selles hakkavad arenema hallitused.

Ehitiste soojusjuhtivust iseloomustatakse U-väärtusega. Kui seinas on 100 mm paksune ehitusvilla isolatsioon, on selle U-väärtuseks 0,40 W/m²·°C. Kui välis- ja sisetemperatuurid on vastavalt –10 °C ja +15 °C, siis on temperatuuride vahe 25 °C ning iga ruutmeetri seinapinna kaudu liigub välja 0,40 x 25 = 10 W soojuslikku võimsust. Lae isoleerimiseks kasutatava 150 mm paksuse ehitusvilla U-väärtus on 0,30 W/m²·°C. Katuse kaudu võivad siseruumid suvel soojeneda. Siis kandub päikesekiirguse toimel soojenenud katuse ja pööningu soojus loomakasvatushoonetesse.

Põllumajandushooned on püstitatud eelkõige

Tabel 5. Loomakasvatushoonete gaaside sisalduse soovituslikud ülemmäärad

Gaas	Soome	Rahvusvaheline
Süsihappegaas	3000 ppm	3000 ppm
Ammoniaak	10 ppm (lindlates 25 ppm)	20 ppm
Väävelvesinik	0,5 ppm	0,5 ppm
Vingugaas	5 ppm	10 ppm
Orgaanilist päritolu tolmu	10 mg/m ³	-

Tabel 6. Õhu temperatuuri ja niiskusesisalduse soovituslikke väärtusi loomapidamisel^B

Loomaliik	Alumine kriitiline temperatuur °C	Ülemine kriitiline temperatuur °C	Optimaalne temperatuur
Lehm	–25 ... –15	23 ... 27	5 ... 15
Noorkari	–15 ... 0	25... 30	10 ... 20
Vasikad	0 ... 10	30	15 ... 25
Lihakari (vanusega üle 3 kuu)	–35 ... –15	25 ... 30	–10 ... 15
Poegiv emis	5 ... 20	27 ... 32	10 ... 28
Vastsündinud pörsas	25	34	30 ... 32
Nuumik	7 ... 15	25 ... 27	15 ... 22

maapinnale. Põrandast liigub soojus maasse peamiselt külma välisserva kaudu. Põranda servmis- te osade isoleerimisega on võimalik seda sooja- kadu vähendada. Soojustatud ehitiste põrandate soojakadu on umbes 6 W/m², kui põranda pind- ala on 300 m² ja 13 W/m², kui pindala on 50 m². Soomes soovitatakse põllumajandushoonete soojapidavuse ja ventilatsiooni projekteerimisel kasutada keskkonnaministeeriumi ning maa- ja põllumajandusministeeriumi juhiseid⁵.

Soojuskaod ventileerimisel

Külmades oludes vajab osa tootmishoone- test kütmist. Piima- ja lihaveiseid võib pidada ka külmlautades, kuid sea- ja linnuliha tootmiseks on vajalikud soojustatud tootmishooned. Sobili- ku sisekliima tagamiseks tuleb rakendada venti- leerimist. Ventilatsiooniõhuga kandub osa sooju- sest hoonest välja ning sisestatavat värsket õhku tuleb soojendada sisetemperatuurini.

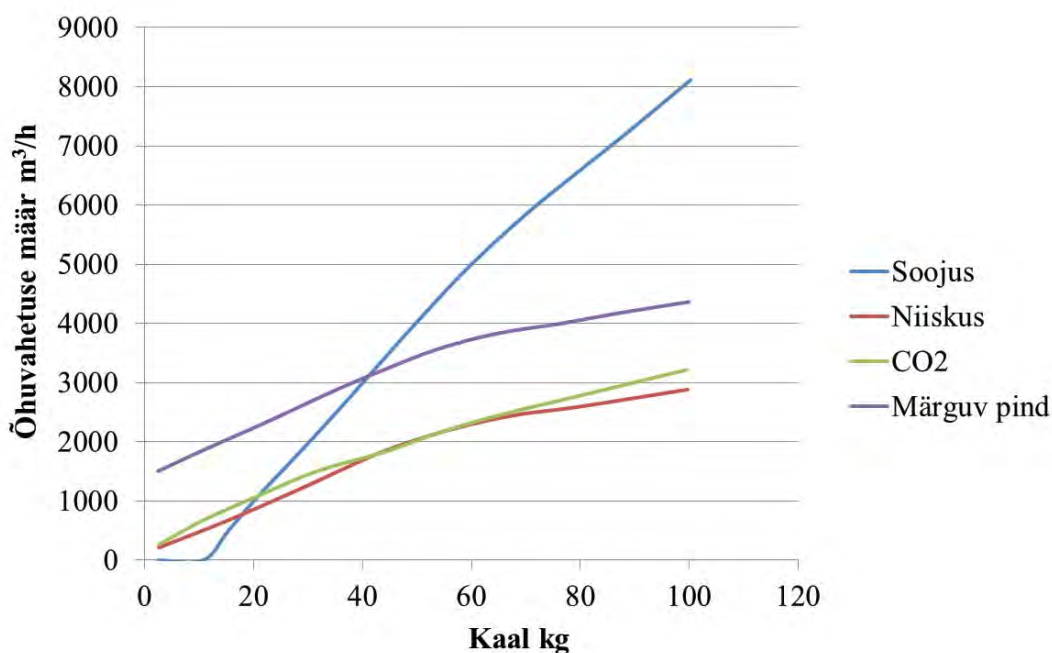
Ventileeritavat õhuvahetust määrab kolm te- gurit. Õhuvahetus peab olema küllaldane selleks, et siseruumides püsiks õhu niiskus ja süsihap- pegaasi sisaldus madalana. Lisaks sellele välju- tatakse ventilatsiooni teel ruumidest ülemäära- ne soojuse hulk. Talvekuudel on ventilatsiooni

ülesandeks eelkõige niiskuse ja süsihappegaasi väljutamine, suvel aga vajatakse seda peamiselt temperatuuri alandamiseks. Seetõttu rakenda- takse minimaalse ja maksimaalse õhuvahetuse mõisteid. Soojuse väljutamiseks vajatakse suure- maid õhukoguseid ja see määrab ka maksimaal- se õhuvahetuse hulga. Minimaalne õhuvahetuse määr aga peab tagama niiskuse ja süsihappegaasi väljutuse hoonest. **Joonisel 20** on esitatud sigala õhuvahetuse määr olenevalt sigade eluskaalust. Kui eluskaal jääb alla 40 kg, siis tuleneb õhuva- hetuse vajadus eelkõige pesemise käigus märgu- vast pindalast. Kui märguvad pinnad puuduvad, siis määrab õhuvahetustarvet süsihappegaasi si- saldus ja loomade poolt eritav veekogus. Üle 40-kilose eluskaalu puhul kujuneb põhiliseks õhuvahetust määravaks teguriks sigadelt eralduv soojushulk. Välistemperatuuri muutused mõjuta- vad samuti õhuvahetuse määra.

Summaarne soojuskadu

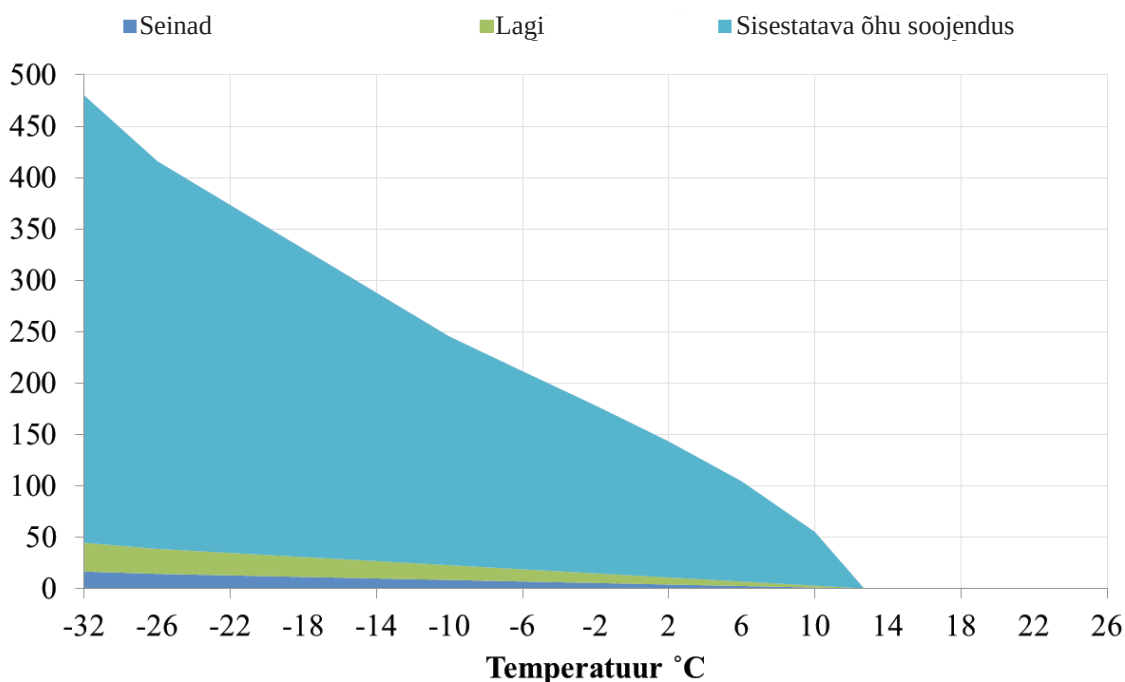
Hoonete summaarne soojuskadu moodustub piirete ja ventilatsiooni kaudu toimuvast kaost. **Joonisel 21** sigala kohta toodud näites mõjutab ventilatsioon summaarset soojuskadu 90% ula- tuses. Piirete kaudu toimuv soojuskadu on vaid 10% või sellest isegi madalam. Soojustatud loo- makasvatushoonete soojuskadude vähendami- seks annab seetõttu kõige märgatavamaid tule-

⁵ Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto C2.2. Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja ohjeet. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta Ohjeet 2007. Ympäristöministeriö



Joonis 20. Sigalas toimuva õhuvahetuse määrad (välistemperatuur – 8 °C, relatiivne niiskusesisaldus – 50%): CO₂ – süsihappegaasi eemaldamiseks vajalik õhuvahetus; Soojus – üleliigse soojuse eemaldamiseks vajalik õhuvahetus; Märguv pind – märgade pindade poolt eritatava niiskuse eemaldamiseks vajalik õhuvahetus; Niiskus – loomade poolt eritatava niiskuse eemaldamiseks vajalik õhuvahetus

Küttevajaduse jaotus (kW), 2400 siga, igapäev 60 kg



Joonis 21. Sigala soojuskadude jaotus sõltuvalt temperatuurist (sigade eluskaal 60 kg)

musi õhusoojuse regeneratsioon (väljutatava õhu soojuse kasutamine siseneva õhu soojendamiseks). Seinte täiendava soojustamisega võib aga

saavutada vaid kuni 10%-st kokkuhoidu.

Veiseid saab pidada ka külmlautades. Sel juhul soojuskadudega pole vaja arvestada, sest

hoones puudub küte. Vee ja sõnniku külmumishohe tõttu on siiski otstarbekas hoida sisetemperatuuri plusspoolel ning loomade paiknemise tihedus peaks olema küllaldane, et ei toimuks jäätumist. Pakaselise ilmaga saab külmlautade funktsionaalsuse tagada kergisolatsiooni abil.

Soojuse taaskasutus ventileerimisel

Ventileerimisel soojuse taaskasutuseks rakendatavate soojusvahetite funktsionaalsust ja majanduslikku tasuvust uuriti 1970 – 80 aastakümne vahetusel pärast esimest energiakriisi. Selleaegsed soojusvahetid osutusid ehituslikult, tööpõhimõttelt ja ekspluatatsioonikulude poolest väga erinevateks. VõrdlEVates uuringutes võeti investeerimis- ja ekspluateerimiskuludele lisaks arvesse ka sisetemperatuuri mõju sigade juurdekasvule. Kui sisetemperatuur jääb optimaalsest madalamaks, siis kasutavad sead sööta enam ja kasvavad aeglasemalt. Kasv pidurdub ka siis, kui sigala on liiga kuum.

Soojusvaheti soetamise eesmärgiks on vähendada loomakasvatushoone küttekulu talveperioodil. Nuumsigalasse ventilatsiooniga sisestatavat välisõhku tuleb soojendada, kuna selle temperatuur on talvel enamasti alla nulli. Sigade poolt eritatav soojushulk on küllaldane, et hoida sisetemperatuuri nõutud piires. Suvekuudel tuleb loomade toodetav ülemäärane soojushulk ventilatsiooniga eemaldada, sest muidu sisetemperatuur ületaks lubatud piiri. Õhuvahetuse abil eemaldatakse sigalast ka niiskust ja kahjulikke gaase. Kui eesmärgiks seada sigala temperatuuri hoidmine optimaalses vahemikus, tuleks suvel sisestatavat õhku jahutada. Mõningaid soojuse regenereerimise seadmeid saab rakendada ka selleks otstarbeks.

Karhunen jt⁶ (1983) läbi viidud uurimuste

kohaselt on võimalik hästi isoleeritud loomakasvatushoonetes 30%-se kasuteguriga (regeneratsioonikoefitsiendiga) soojusvahetite abil korvata üle 90% vajalikust kütteenergiast. Samades uuringutes ilmnes, et nuumsigalate soojusvahetite optimaalseks kasuteguriks võib lugeda 11 – 13% ning neist kõik olid ka võimalised sellise kasuteguriga töötama. Uuringutes selgitati veel soojusvahetite hooldustarvet. Ilmnes, et soojusvahetite töökorras hoidmiseks on vajalik nende regulaarne puhastamine. Lühim nõutav puhastustsükli vaheline periood osutus ühe nädala pikkuseks.

Soojusvahetiga on võimalik vähendada kütteenergia tarvet kümnete protsentide võrra ja kohati isegi täies ulatuses. Kehtiva madala energiahinna tõttu pole alates 1980-test aastatest soojusvahetite arendamisega enam tegeldud, kuid nüüd tundub selleks olevat uuesti tekkimas vajadus.

Loomakasvatushoonete jahutamine

Suvel võib loomakasvatushoone temperatuur tõusta liiga kõrgeks, mistõttu vajatakse selle jahutamist. Esmaseks meetmeks on siis kõikide õhuvahetust mõjutavate luukide avamine. Heaks võimaluseks on tuuletõmbuse tekitamine, mis muudab õhuvahetuse intensiivseks. Kui sellest ei piisa, suurendatakse õhu liikumiskiirust suure võimsusega ventilaatorite abil. Õhu suurem liikumiskiirus intensiivistab looma kehasoojuse ülekannet keskkonda. Ventilaatorite rakendamine suurendab muidugi energiatarvet, kuid põhjamaistes oludes on seda vaja teha suhteliselt lühikese perioodi jooksul. Kui ventilatsiooni intensiivistamisest ja õhu liikumiskiiruse suurendamisest jääb vajaka, saab täiendava vahendina kasutada näiteks vee piserdamist õhku. Vee aurustumiseks vajalik soojus võetakse siis õhust, mis seda omakorda jahutab. Sellist moodust kasutatakse meie oludes siiski väga harva.

6 Karhunen, J., Mykkänen, U., Nieminen, L., Wikstén, R. & Saloniemi, H. 1983. Lämmönvaihtimet

eläinsuojien ilmastoinnissa. Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos, Vakolan tutkimusselostus nro 36. 79 p.

Energiasäästlikud ventilaatorid

Ventilaatori õige valikuga saab suuresti mõjutada energiakulu. Seetõttu tasub juba ehitusjärgus valida hoone gabariitidele vastavad energiasäästlikud ventilaatorid. Nende valikul tuleks eriti arvestada energeetilist jõudlust ($\text{m}^3/\text{min}\cdot\text{W}$), sest erinevused säästlike ja mittesäästlike seadmete vahel on kaunis suured. Erinevused tulenevad enamasti ventilaatori varustatusest abivahenditega (sulguri, kaitsevõre, väljutuslehtri ja mootoriga).

Ventilaatorite kaitsevõred, neisse kogunev mustus ja reguleerimissiibrid suurendavad õhukanali takistust, mis pidurdab läbi ventilaatori kulgevat õhuvoolu ja vähendab energiatõhusust. Väljutuslehtri kasutamisega on võimalik ventilaatori energiatõhusust suurendada, sest siis muutub ventilaatori korpust läbiva õhukanali profiil õhuvoolu soodustavaks. Pikas ja voolujooneliseks kujundatud õhukanalis on õhuvoolu hulk ja võimsus suuremad. Järsud servad aga segavad õhuvoolu ventilaatoris ja mõjuvad selle jõudlust alandavalt. Energiatõhususe parandamiseks tuleks tunnelventilaatorid varustada suunava lehtriga (**joonis 22**). Joonisel on parempoolsel ventilaatoril suunav lehter olemas, aga vasakpoolsel see puudub. Kui lehter puudub, satub osa õhuvoolust tagasi ventilaatorisse, vähendades selle jõudlust.

Ventilaatorite ohjamine

Ventilaatorite energiakulu mõjutab suuresti nende ohjamise põhimõte. Teitel jt⁷ võrdlesid sagedusmuunduriga tüüritavaid ventilaatoreid nendega, mille ohjamiseks kasutati "sees-väljas" lülitusrežiimi. Selgus, et sagedusmuunduri

kasutamisel kulutavad ventilaatorid 25% vähem energiat. Vähendades muunduri abil ventilaatori pöörlemiskiirust, väheneb ka selle energiakulu. Czarick⁸ väidab oma uuringute põhjal, et vähendades ventilaatori pöörlemiskiirust 10% võrra, väheneb samavõrra ka õhuvahetuse määr, kuid energiakulu väheneb seejuures märgatavalt enam (25 – 30%).

Ventilaatorite hooldus ja puhastamine

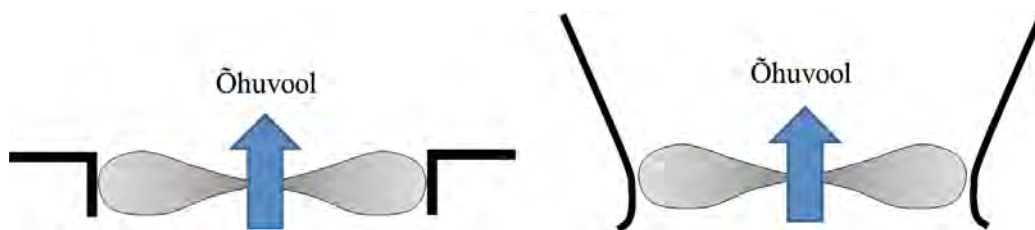
Ventilaatorite määrdunud labad võivad vähendada õhuvoolu ja suurendada energiakulu, sest labadele kinnitunud mustus tekitab kõrgeimat vasturõhku, mistõttu õhu liikumapanekuks vajatakse enam energiat. Ka temperatuuriregulaatorid tuleb hoida puhastatuna, sest neile kogunev mustus muudab soojusjuhtivust, mille tulemusena regulaatorid ei reageeri enam temperatuurimuutustele õigesti või teevad seda viivisega. Termoregulaatoreid peaks töökindluse tõstmiseks süstemaatiliselt kalibreerima. Rihm-ülekannetega toimivate ventilaatorite energiakulu sõltub ülekande seisundist. Lõtvunud ülekanterihmad põhjustavad libisemist, mis samuti vähendab ventilaatori jõudlust.

Ventilatsioonikanalid

Ventilaatorite energiatarve sõltub läbi selle siirdatavast õhuhulgast ja vasturõhu suuruselt (imi- ja survepoole rõhkude vahest). Õhuhulga suurenemisega kaasneb alati ka energia ja võimsuse kasv. Samuti mõjutab neid vasturõhu suurenemine. Vasturõhku mõjutavad ventilatsioonitorustik ja selle õhujaotuse süsteem. Väikese läbimõõduga torud ja nende põlved suurendavad vasturõhku ja vastavalt ka energiavajadust. Kuna ventilatsiooni kasutatakse praktiliselt pidevalt, siis tuleks torustiku ja õhuvahetuse projekteerimisel tõsiselt arvestada võimsustarbega ja püüda selleks leida energiasäästlikke lahendusi.

8 Czarick, M. 2009. Reducing Poultry House Power Usage. University of Georgia.

7 Teitel, M., Levi, A., Zhao, Y., Barak, M., Barlev, E. & Shmuel, D. 2008. Energy saving in agricultural buildings through fan motor control by variable frequency drives. Energy and Buildings 40 (2008) 953–960.



Joonis 22. Ventilatori korpuse kuju erinevaid lahendusi (Focus on Energy 2007)

Valgustite energiatõhusus

Valgustugevuse põhiühik on kandela. Sellest on tuletatud valgusvoo ühik lumen (lm) ja valgustatuse ühik luks (lx), mis tähendab valgusvoogu ühe pinnauhiku kohta (lm/m^2). Lumen iseloomustab valgusallika (lambi) poolt kiiratava valguse võimsust. Valgustatuse (lx) väärtust mõjutavad lambi valgusvoog, valgusti reflektori omadused ja valgustatava pinna kaugus lambist. Valgustatus (lx) näitab kui suur on ühele pinnauhikule langev valgusvoog. Lambi valgusefektiivsus näitab ühevatise elektrienergia abil toodetavat valgusenergiat lumenites (lm/W). Inimeste ja põllumajandusloomade silmad eristavad valguse lainepikkusi enamasti erinevalt. Seetõttu ei tarvitse inimtajust lähtuv valgustuse projekteerimine alati olla loomale sobiv. Loomakasvatushoonete soovituslikud valgustatuse normid on esitatud **tabelis 7**.

Loomakasvatushoonete energiakulu on sage li suur seetõttu, et hooned on suhteliselt suured ja neid tuleb peaaegu pidevalt valgustada. Pii-malehmade pidamisel kulub valgustusele kogu-elektrist 10 – 30%^{9,10}, kusjuures elektri osakaal üldises energiakulus jääb enamasti väiksemaks kui 10%. Sealiha tootmisel kulub valgustusele umbes 10% kogu elektrist²⁷.

Loomakasvatushoonete valgustamiseks ku-luva energia kogust mõjutab see, milliseid val-

gusteid selleks kasutatakse (näiteks hõõglambid, päevavalguslambid, neonlambid, LED-valgus-tid), kuidas on korraldatud valgustustsüklite juh-timine (valgustusprogramm) ja see, kas valgus-tuse intensiivsust on võimalik reguleerida (näit hämardada). Kui eesmärgiks seatakse valgustuse energiakulu vähendamine, siis tuleb süsteemi uuendamisel lähtuda valgustite valgusefektiivsu-sest (lm/W). See tähendab valgusti poolt kiiratava valgusenergia ja kulutatava elektrienergia suhet. **Joonisel 23** kirjeldatud lambi (energiaklassiga A) valgusefektiivsus saadakse lambi valgusvoo (lm) jagamisel võimsusega (W): $850/15 \approx 57$. Mida suurem on saadab arv, seda parem on lambi energiatõhusus.

Hõõglambid

Loomakasvatushoonetes kasutatakse ikka veel rohkesti hõõglampe. Nende eeliseks on ma-dal hind, valgustugevuse reguleerimise lihtsus ja lai valguse spekter. Samas on see kõige väiksema valgusjõudlusega elektrilampide klass. Hõõg-lampides muundatakse valguskiirguseks vaid 6 – 12% elektrienergiast. Ülejäänud osa elektrist muutub neis lampides soojuseks. Ka oma kasu-tusea poolest (umbes 1000 h) jäävad hõõglambid päevavalgus- ja LED-valgustitele alla. Hõõglam-pide puuduseks loomakasvatushoonetes on ka see, et need ahvatlevad ligi kärbsed ja teisi putu-kaid, mistõttu lampide pinnad mustuvad ja nende valgusjõud väheneb. Kuna hõõglambid ei vasta EL lampide valgusjõudluse uutele nõuetele, on nende hulgemüük alates 01.09.2012 lõpetatud

9 Hörndahl T. Energy Use in Farm Buildings. Swedish University of Agricultural Sciences, Report 2008:8.
10 Ludington D. & Johnson E. DAIRY FARM ENERGY AUDIT SUMMARY REPORT. New York State Energy Research and Development Authority

(EL Komisjoni määrus 244/2009). Juba seetõttu tuleb hakata mõtlema loomakasvatushoonete valgustussüsteemide uuendamisele.

Päevavalguslambid ehk madalarõhulised elavhõbelambid

Uuemates loomakasvatushoonetes kasutatakse enamasti päevavalguslampe, mis oma valgusjõudluselt ületavad märgatavalt hõõglampe. Ka päevavalguslampide eeldatav kasutusega on hõõglampide omast pikem (umbes 15 000 – 20 000 h). Nende kasutusega väheneb mingil määral lampide sisse- ja väljalülitamiskordade arvu suurendamisel.

LED-lambid

Viimasel ajal on märgatavalt kasvanud huvi pikaajaliste (kuni 100 000 h) ja energiasäästlike LED-valgustite vastu. Loomakasvatushoonetes neid juba ka kasutatakse, kuid kõrge hinna tõttu on see siiski veel tagasihoidlik. LED-valgustite eelisteks on valgusjõu lihtne reguleeritavus, kasutusea sõltumatus lülituste arvust ja see, et süütamisel kiirgavad need kohe täie valgusjõuga.

Kõrgerõhulised naatriumlambid

Loomakasvatushoonetes on katsetatud ka kõrgerõhulisi gaaslahendusega (*HID* = *high intensity discharge*) lampe. Nende valgustite soovituslik paigaldamise kõrgus põrandast on 5 – 7 m. Ameerika Ühendriikides sooritatud uurimuses võrreldi omavahel kõrgerõhuliste naatriumlampide (*HPS* = *high pressure sodium*) ja hõõglampide rakendamist broilerite kanalas.

Selgus, et võrreldes hõõglampidega saavutati HPS valgustite kasutamisel suurem toodangumaht, vähenesid tootmiskulu ja energiatarve¹¹. Kõrgerõhuliste naatriumlampide tüürimisel tuleb arvestada teatud piirangutega. Clarke jt¹² uurinutest selgus, et valgustuse regulaator kujuneb kogu valgustussüsteemi kriitiliseks lüliks, kuna peab reguleerimisel tagama suure täpsuse ja töökindluse.

11 Clarke, S. & Ward, D. 2006. Energy-Efficient Mechanical Ventilation Fan Systems. Energy opportunities. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Ontario Fact-sheet, June 2006, agdex 717

12 Clarke, S. & Ward, D. 2006. Energy-Efficient Mechanical Ventilation Fan Systems. Energy opportunities. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Ontario Fact-sheet, June 2006, agdex 717

Tabel 7. Loomakasvatushoonete soovituslikud valgustatuse väärtused ja neile vastav päevavalgus- ehk luminofoorlampide erivõimsus

Loomakasvatushoone	Soovitatav valgustatus lx	Päevalguslampide erivõimsus W/m ²
Lehmalaut		
üldvalgus	60 – 100	3,6 – 6,0
lüpsiplats	200 – 250	12,0 – 15,0
noorkarja ruumid	40 – 60	2,4 – 3,6
Poegimissigala		
üldvalgus	40 – 60	2,4 – 3,6
poegimissulud	60 – 100	3,6 – 6,0
lamamisasemed	20 – 30	1,2 – 1,8
Kanala	10 – 20	0,6 – 1,2
Hobusetall	60 – 100	3,6 – 6,0
Lambalaut	20 – 50	1,2 – 3,0
Piimaanalüüside, pakendus-, järelvalve- ja raamatupidamise ruumid	150 – 300	9,0 – 18,0



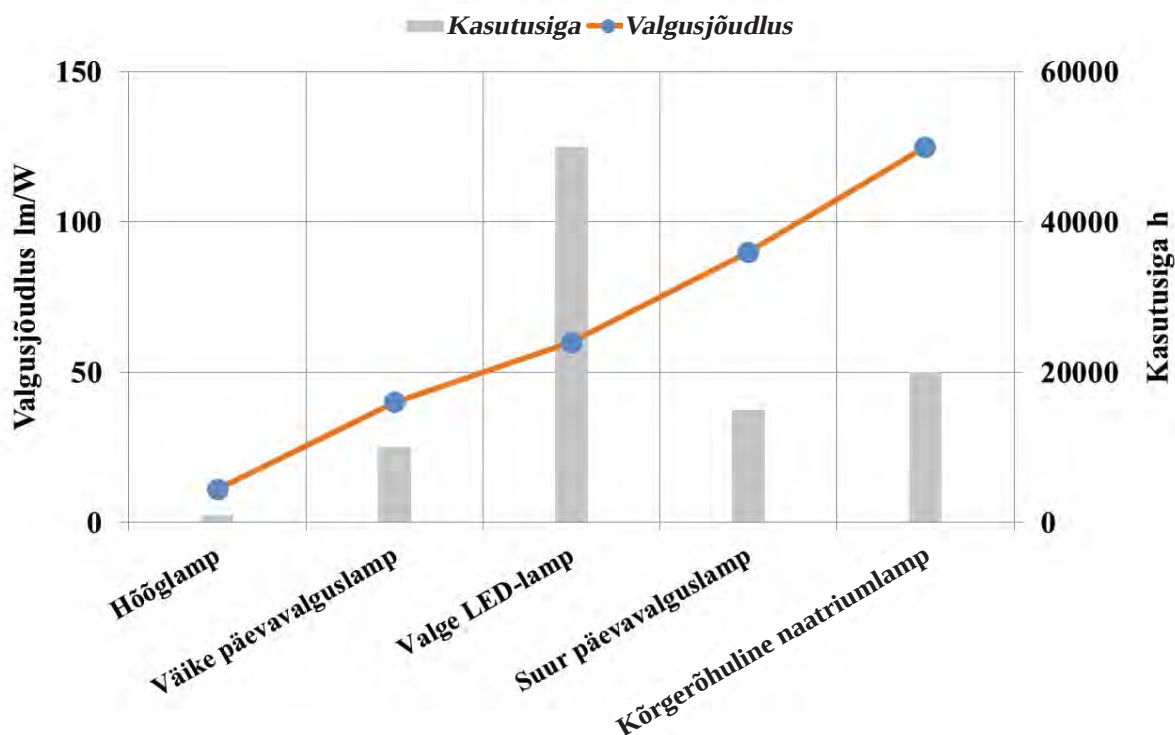
Joonis 23. Näide lambi andmetest

Valgustite puhastamine ja ruumide pinnakatte materjal

Tavapärasel broileriliha tootmisel puhastatakse valgustid iga partii järgselt kanala rutiinse üldpuhastuse käigus. Valgustustugevuse nõrgenemisel tuleks neid vajadusel ka sagedamini puhastada. Kanala siseseinte pinnakate mõjutab valguse peegeldumist hoones. Eelistada tuleks valgemaid pindasid, sest need peegeldavad valgust enam.

Valgustite kasutusiga

Erinevat tüüpi lampide kasutusiga ja valgusjõudlus on kokkuvõtlikult esitatud **joonisel 24**. Sellest nähtub, et kõrgerõhuliste lampide valgusjõudlus on parim, kuid nende kasutusiga on LED-valgustite omast märgatavalt lühem.



Joonis 24. Erinevat tüüpi elektrilampide valgusjõudlus ja kasutusiga (Soome elektriturvalisuse edendamiskeskuse andmed)

Ehitiste ja loomakasvatuse seadmetega seotud energiasäästu võimalused:

- Tootmisviisi ja seadmete valikuga saab energiakulu suures osas mõjutada. Näiteks poolkülma-des vabapidamisega lautades kulub energiat vähem kui soojades lõaspidamisega lautades
- Valgustusele kuluva energia osakaalu on võimalik vähendada energiatõhusate valgustite ja au-tomaatjuhtimise programmide kasutamisega.
- Loomakasvatushoonetest väljutatakse rohkesti soojusta ventilatsioonil väljutatava õhuga. Sel juhul tasub mõelda õhusoojuse taaskasutusele soojusvahetite abil.

Sealiha tootmine

Hannu Mikkola

Energiasäästu planeerimisel on kasulik teada tootmise energiakasutuse struktuuri, sest suurte energiavoogude puhul on lihtsam säästu saavutada kui väikeste energiahulkade juures. Teisalt ei tohiks väikseidki energiakadusid alahinnata, kui need on kõrvaldatavad vähese kulu või töökorralduse muutmisega. Sealiha tootmisel kasutatakse 40% koguenegiast söötadele ja 40% ventileeritava õhu soojendamisele. Ülejäänud 20% kulub valgustusele, söötmisele, õhuvahetusega seotud elektrienergiale ja sigala soojuskadudele piirete kaudu. Põrsaste tootmiseks kasutatav energia eeltoodus ei sisaldu. Ka selle juures on ventilatsiooniga seotud kulude osatähtsus vähemalt sama suur kui söödatootmiseks vajalik energiakogus, sest vastsündinud põrsaste pidamise optimaalne temperatuur (30 – 32 °C) on lihasigade omast (15 – 22 °C) kõrgem. Talvised sisetemperatuuri soovituslikud väärtused on põrsaste jaoks 22 °C ja lihasigadele 16 °C. Need on siiski vaid soovitusliku iseloomuga, sest seakasvatusele kehtestatud loomakaitsenõuetes pole kohustuslikuks täitmiseks määratud alam- ega ülemtemperatuuri. Soome vastavas määru-ses on vaid kehtestatud nõue, et sigala sisetemperatuur ning lamamisaseme temperatuur peavad vastama loomadele vajadustele¹³.

13 Maa- ja metsatalousministeriö 2002. Siko- jen pidolle asetettavat eläinsuojeluvaatimukset. Asetus nro 14/ EEO/2002. 12 p. Saadaval internetis: <http://www.mmm.fi/el/laki/f/f19.pdf>.

Kuna söödatootmine jaguneb energiakulu poolest mitmesse väiksemasse ossa, on sööda- tootmisega seotud energiakulude vähendamine komplitseeritum ülesanne kui ventileeritava õhu soojuse regeneratsioon. Söödaga seotud energia säästmise võimalusi on kirjeldatud taimekasva- tuse peatükis.

Talus toodetava sööda energiast on võimalik erinevate võtetega hõlpsasti kokku hoida 10 – 20%. Soojusvahetite rakendamisel saab vähendada lihasigala ventileerimiseõhu soojen- damiseks kuluvat energiat isegi sellises ulatu- ses, mis võimaldab kütmisest täielikult loobuda. Energiasääst võib siis ulatuda peaaegu 40%-ni.

Energiakulu vähendamine söödatootmisel

Lihasisigade peamiseks söödaks on oder (225 – 230 kg sea kohta), millele lisaks kuulub sigade ratsiooni valgurikast sööta (näiteks soja- jahu 32 – 37 kg sea kohta)¹⁴.

Kuna oder on kodumaine toode ja selle osa- kaal söödas moodustab ligi 90%, õnnestub kõige paremini söödaga seotud energiakulu vähendada odratootmise energiatõhususe suurendamise teel. Seakasvatustaludes on seejuures üheks lisavõi- maluseks lämmastikväetiste osakaalu vähenda- mine vedelsõnniku kasutamise arvel, mis ühtlasi

14 Siljander-Rasi, H., Valaja, J., Jaakkola, S., Perttilä, S. 2000. Tuoresäilötty ohra sikojen ja siipikarjan rehuna. Työtehoseuran maataloustiedote 2: 1-6.

soodustab ka muude toitainete ringet mullas.

Näide sealiha tootva talu lämmastikuringest. Oletame, et lämmastikväetise kulu talupõllul odra kasvatamiseks on 100 kg/ha, mille tulemusena saadakse hektarilt 3800 kg 14%-se niiskusesisaldusega odrasaak. Sellise odra kogusega saab aastas üles kasvatada 16,5 siga (3800 kg/230 kg), kes toodavad 11 m³ vedelsõnnikut. Iga kuupmeeter vedelsõnnikut sisaldab 1,5 kg lahustuvat lämmastikku, ning 11 m³ sõnnikukogusega saab põld 16,5 kg lämmastikku, mis moodustab 15,6% vajalikust lämmastikväetise kogusest. Kui sõnniku ladustamise ja laotamisega seotud kadusid mitte arvestada, siis on oma sigala vedelsõnnikuga võimalik katta 5% odrakasvatusega seotud energiakulust.

Teraviljakasvatuse muudeks energiasäästu võimalusteks on põlluharimise lihtsustamine ja kuivatamise asendamine toore vilja konserveerimisega. Taimekasvatusega seotud tehnoloogia muutmine on energiamajanduse seisukohast otstarbekas siis, kui saagikuse langusest tingitud söödaenergia vähenemine ei ületa tehnoloogiliste muutustega saavutatavat energia kokkuhoidu. Põlluharimise lihtsustamine võimaldab vähendada taimekasvatuse energiakulu kuni 18%, kusjuures parimal juhul jääb saagikus samaks.

Odra kuivatamiseks kaob sealihatalus vajadus siis, kui see märjalt konserveerida, sest konserveeritud vili loetakse söötmise seisukohast kuivatatud viljaga võrdväärseks. Energiasäästmisele lisaks on vilja konserveerimise eelisteks veel selle parem maitse ja vähene tolumine. Saagi koristamiseks võib siis üürida suure jõudlusega kombaini, kusjuures koristuseks jääb enam ajalisi võimalusi, sest ära jääb kuiva ilma ootamise vajadus (eriti muljutud terade konserveerimisel). Kuivatusprotsessi ärajätmisega väheneb odra tootmisahelas energiakulu 11%.

Vedelsõnniku kasutamise, uudsete maaharimisvõtete rakendamise ja vilja kuivatamisest loobumisega saab odra tootmisahela energiakulu

ühtekokku vähendada 16 – 32%, mis omakorda vähendab sealiha tootmise energiakulu 6 – 13%. Energiasäästuks vajalike meetmete kasutusele võtt ei nõua alati täiendavaid investeeringuid (juhul kui ei hakata sisse viima piiravaid regulatsioone). Vedelsõnnikus sisalduva lämmastiku kasutamiseks tuleb see viia laotamise käigus otse mulda. Selleks võib soetada spetsiaalse vedelsõnniku muldaviimise seadme või kasutada selleks tavalisi talus leiduvaid põlluharimisriistu. Lihtsustatud põlluharimistehnoloogia või otsekülvi juurutamiseks läheb vaja külvikut, mis võimaldab seemet külvata taimejäänukitega maasse. Samal ajal võib aga loobuda osadest põlluharimise riistadest ning nende uuendamisest. Üleminekut teravilja märjalt konserveerimisele tasub kaaluda siis, kui vana kuivati jõudlusest enam ei piisa ning selle asemele tuleks püstitada uus. Konserveerimiseks vajalike seadmete hankimisest kujuneks siis asendusinvesteering, mille suurus jääb uue kuivati ehitamise kuludest väiksemaks ehk teisisõnu kokku hoitaks ka investeerimiskulu.

Kokkuvõte energiakulu vähendamisest sealiha tootmisel

Sealiha tootmisel on energiasäästmise võimalused kaunis avarad. Kõikide ülaltoodud meetmete abil on parimal juhul võimalik kokku hoida 40 – 45% energiakuludest. Kõige selgem ja suurem säästmise võimalus seostub sigalast väljutatava õhu soojusenergia taaskasutusega (regenereerimisega). Lähteandmed optimaalse kasuteguriga soojusvaheti konstrueerimiseks on saadaval avaldatud kirjandusest.

Tolmuga kaasnev soojusvahetite mustumise probleem on lahendatav automaatse või vähest töökulu nõudva puhastusviisi kasutusele võtuga. Kuna ventilatsioon moodustab loomakasvatushoonete sisseseadest ühe olulise osa, siis tuleks soojusvahetite kasutamisele ja paigaldamisele mõelda juba ehitiste projekteerimise käigus.

Kohalike kütuste kasutamine võimaldab tootmiskulusid märgatavalt kokku hoida. Kuigi sellega ei kaasne energiasäästu, väheneb fossiilse energia vajadus, mis omakorda vähendab süsihappegaasi emissiooni. Sageli tuleb üleminekut kohalikule kütusele eelistada soojuse regenereerimisele loomakasvatushoonetes, sest katlamaja on kasutatav laiemalt – kogu talu tarbeks.

Ka söödatootmisel on võimalik energiat kokku hoida. Suurimat kokkuhoiuvõimalust pakub seejuures üleminek vilja kuivatamiselt toorvilja konserveerimisele. Samuti on viljatootmise ahelas otstarbekas asendada rohke energiakuluga põlluharimise tööd ökonoomsematega või hakata rakendama otsekülvi.

Energiasäästu võimalused sealiha tootmisel:

- Söödatootmisel võidakse energiakulu vähendamiseks:
 - kasutada minimeeritud mullaharimise tehnoloogiat,
 - rakendada säästumeetmeid vilja kuivatamisel või üle minna muudele vilja säilitamise moodustele.
- Ehitiste energiakulu on võimalik vähendada ventilatsioonil väljutatava õhu soojuse taaskasutusega soojusvahetite abil.

Broileriliha tootmine

Mari Rajaniemi

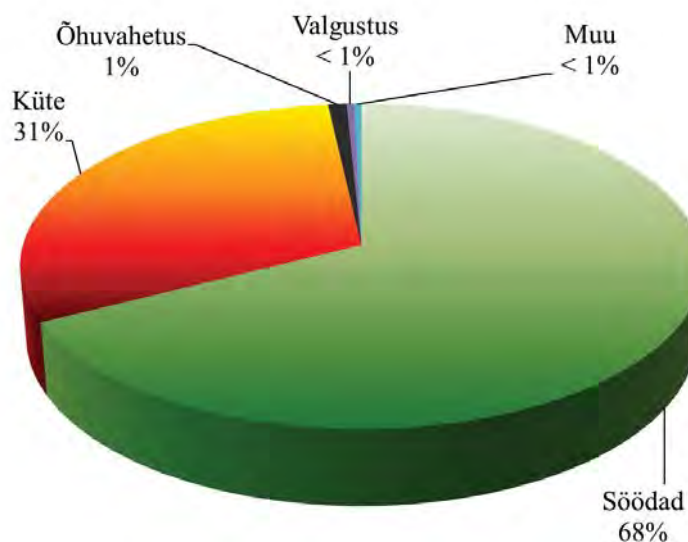
Broileriliha tootmine on spetsialiseerunud ja automatiseeritud, kusjuures suurima osa energiatarbest moodustavad kaudsed energiakulud söötadele ning lindla kütteks minevad otsesed energiakulud (**joonis 25**). Kuna sööt ja küte moodustavad suurima energiavajaduse, sisalduvad neis ka suurimad võimalused energia kokkuhoiuks. Elektrienergia kulu moodustab siiski vaid väikese osa lindla koguenergia kulust. Elektrienergiast põhiosa läheb ventilatsioonisüsteemi käigushoidmiseks ja valgustuse tagamiseks.

Energiakulu on tugevalt seotud aastaegade ja lindude kasvuperioodiga. Elektrit kulub kõige enam soojematel aastaegadel ja lindude kasvuperioodi lõpus, sest siis suureneb kanala ventileerimise vajadus. Kütteenergiat kulub kõige enam külmematel aastaegadel ja kasvuperioodi alguses, millal õhutemperatuuri tuleb hoida kõrgena. Kui kasvuperioodi algus langeb külmale ajale, püsib kütteenergia kulu kasvuperioodi jooksul

peaaegu muutumatuna, sest perioodi lõpus kompenseerib intensiivsemast ventileerimisest tulevat soojakadu juba soojenev välistemperatuur. Erinevate kanalate vahel esineb siiski olulist energiakulu lahknevust, mida tingivad ehitiste konstruktsioonilised erinevused, ilmastikuolud ja eripärad tootmise tehnoloogias.

Söödad

Broileriliha tootmisel on suurimaks energiakulu allikaks söödad. Seetõttu seostuvad energiasäästu meetmed suurelt jaolt söödatootmise ahela ja söödatöötlemisega. Söödatootmise ahela suurim energiavajadus on seotud väetiste valmistamise, masinate kütusekulu ja vilja kuivatamisega. Söödavilja tootmisega võrreldes on sööda töötlemiseks vajalik energiakogus suhteliselt tagasihoidlik. Sageli ületab aga ostusööda ener-



Joonis 25. Energiakulu jaotus broileriliha tootmisel

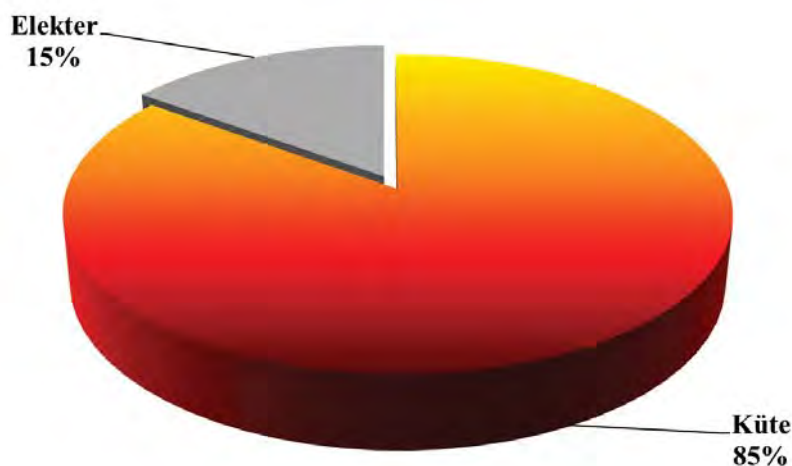
gia siiski talus sööda tootmiseks kasutatud energiat, sest ostusööta on töödeldud ja transporditud mitmest eri kohast. Taimekasvatuse peatükis on kirjeldatud talus toodetava sööda energia säästmise võimalusi. Söödakäitluses on energiasäästu meetmed suunatud eelkõige vilja säilitamisega seonduvale. Talus toodetavat vilja saab säilitada kuivatatult või õhukindlalt konserveerituna. Kuigi õhukindel säilitamine on energiasäästlik ja majanduslikult tasuv meetod, ei ole see veel jõudnud laiemalt levida lindlatesse, sest kardetakse konserveerimise ebaõnnestumist.

Kütmine

Märgatava osa linnukasvatushoonete otsesest energiakulust moodustab tootmisruumide küte (**joonis 26**). Kanala kütteenenergia tarvet mõjutavad mh välis- ja sisetemperatuuri vahe, ehitusmaterjalide soojusjuhtivus ja ehitise suurus.

Vastavalt Rossi broilerikasvatuse¹⁵ käsiraamatule, kujuneb lindude termoregulatsioon väl-

¹⁵ Aviagen. 2009. Ross Broiler Management Manual. Saadaval: http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross_Broiler_Manual_09.pdf



Joonis 26. Näide broileriliha tootmise otsese energiakulu jaotusest

ja alles 12 – 14 päeva vanuselt. Enne seda tuleb kunstlikult hoida tootmishoone sisetemperatuuri vajalikul tasemel. Optimaalse jõudluse saavutamiseks tuleb sisetemperatuuri hoida lindudele sobilikus vahemikus ka ülejäänud tootmistsükli osades. Ülemäärase temperatuuri korral kannatavad linnud termostressi all, mistõttu väheneb juurdekasv ja suureneb suremus. Liigse külma käes kasvab aga lindude söödatarve ning pidurdub kasv.

Broilerite kanalad koetakse tibude sissetoomisel 30 °C-ni. Seejärel aga vähendatakse ülejäänud kasvuperioodi jooksul temperatuuri järk-järgult, kuni perioodi lõpuks saavutatakse 21 °C-ni. Aastaaegade vaheldumisega kaasnevad välistemperatuuri muutused ja lindude kasvu erinevad etapid võivad põhjustada vägagi ulatuslikke muutusi kanala kütteenergia vajadustes.

Linnupartiide vahetustega kaasnevad energiakulu muutused olenevad eelkõige aastaajast. Külmematel aastaagadel võib välistemperatuur langeda isegi alla –30 °C, kuid sellele vaatamata tuleb ruumide sisetemperatuuri hoida kindla kasvuperioodi jaoks ettenähtud väärtuse juures. Seetõttu võib külmal aastaajal kütteenergia tarve suureneda suve või kevadega võrreldes mitmekordseks. Linnukasvataja jaoks muutub see oluliseks kuluks kanala kütisel kütteõliga. Majanduslikult on siis otstarbekas minna üle taastuvate energiaallikate kasutamisele. Samas ei kaasne sellega otsest energiakulu kokkuhoidu.

Soojuskaod

Enamasti kasutatakse broilerikasvatases betoonpaneelidest hooneid, kuid endiselt on kasutusel ka puitehitisi. Soojusenergiat läheb kanalates kaotsi uste, lae, seinte ja põranda kaudu. Mida paremat soojustusmaterjali on kasutatud, seda väiksemad on ka hoone soojuskaod. Puitehitised muutuvad vananedes hõredamaks (puit lõheneb, väändub ja tõmbub aja jooksul kokku), mille tu-

lemusena tekivad soojalekked. Siis tuleks hoonele paigaldada uus termoisolatsioon.

Väga oluline on õhuvahetuse täpne mõõtmine ja selle ohjamine, sest broilerite kanala energiakulutused moodustuvad eelkõige soojuskadudest piirete ja ventilatsiooni kaudu. Ventilatsiooniga seotud soojuskadude vähendamiseks on otstarbekas rakendada õhusoojuse regenereerimist soojusvahetite abil. Väljutatava õhu soojusega sisestatava õhu soojendamine aitab kokku hoida märgatava kütteenergia koguse. Soojusvahetite kasutamisel tuleb teatud määral arvestada elektrikulu suurenemisega. Nende rakendamine annab aga märgatavat energiasäästu eriti külmematel aastaagadel, kui üldised soojuskaod on suuremad. Broileriliha tootmisel kasutatakse soojusvaheteid siiski veel suhteliselt tagasihoidlikult, sest tehniliste lahenduste juurutamist raskendab väljutusõhu kõrge tolmusisaldus, soojusvahetites kondenseeruv vesi ja hügieeniprobleemid. Soojuse regenereerimissüsteemid tuleks juurutada juba kanalate ehituse käigus, sest hiljem on see märksa raskemini teostatav.

Ventilatsioon

Broilerite kanala elektrikulus mängivad suurimat rolli ventilatsiooniseadmed ja valgustus. Ventilatsiooni energiatarvet mõjutavad mh aasta-aeg (sise- ja välistemperatuuride vahe), lindude kasvutsükkel, kasutatavad seadmed, nende ohjamine ja korrashoid ning puhtus. Ventilatsioonienergia kulu on suurel määral aastaajast. Soojematel aastaagadel ning kasvutsükli lõpus peab õhuvahetus olema intensiivsem ning siis kasvab ka selleks vajalik energiatarve.

Valgustus

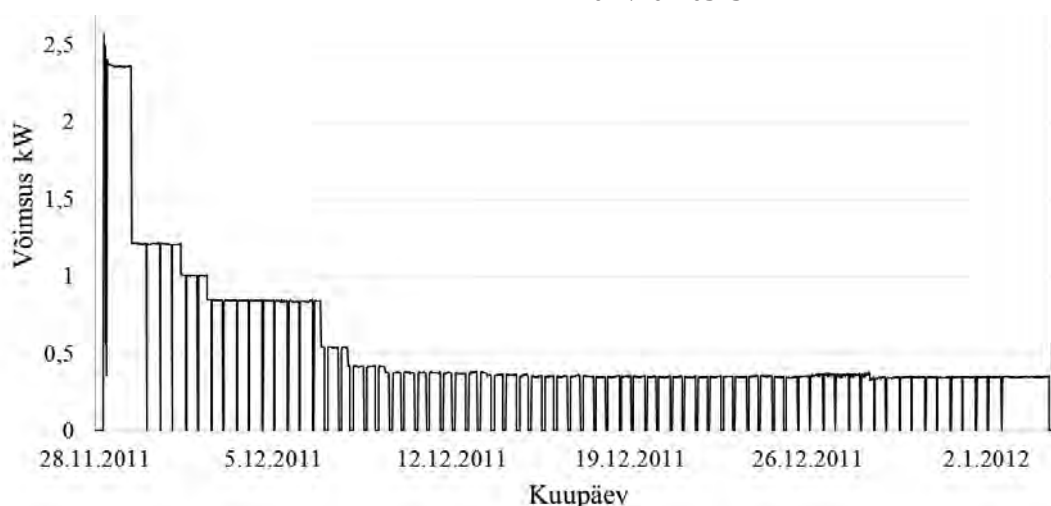
Linnusilm on valguse suhtes inimese omast tundlikum. Linnud on võimelised nägema ka inimsilmale nähtamatute lainepikkuste piirkon-

nas. See esitab omapoolsed nõuded kanalate valgustuse projekteerimisele. Valgustus mõjutab oluliselt lindude heaolu, kasvu ja kanala energiakulu. Erinevate broilerikanalate valgustusprogrammid erinevad teatud määral üksteisest. Üldlevinud praktika kohaselt lastakse tibude saabumisel kanalasse valgustitel kas pidevalt põleda kahe esimese päeva jooksul, või hoitakse neid ööpäevas vaid ühe tunni jooksul välja lülitatuna. Sellise (24:0 või 23:1) režiimi juures suudavad linnud hõlpsamini uue ümbrusega kohaneda ja ära õppida sööda- ja joogikohtade kasutamise. Pärast nn kohanemisperioodi võib kasutatav valgustamise programm tootmisüksuste ja riikide vahel teatud määral erineda. Seadusandlusega on seejuures määratud miimumnõuded kanala valgustatusele ning pimedaja valge perioodi val-

gustuse piirväärtused¹⁶.

Soome kehtivate nõuete järgi peavad linnud ööpäevas veetma vähemalt kuus tundi pimedas. Pimeda aja võib seejuures jaotada omakorda mitmeks osaks, millest vähemalt neli tundi on kanala pidevalt pime. Näitena on **joonisel 27** esitatud päevavalguslampidega kanala valgustugevuse dünaamika ühe broileripartii üleskasvatamisel. Esimesed paar päeva on valgustus olnud pidevalt sisse lülitatud. Seejärel on valgustust hakatud astmeliselt vähendama. Pimeda perioodi kestus jaguneb seejuures kaheks osaks. Jooniselt nähtub ka, et energiakulu on olnud suurim pärast uue tibude partii sissetoomist. Hilisema valgustuse vähendamisega väheneb ka energiakulu.

16 Vna. 2011. Valtioneuvoston asetus broilereiden suojelusta 375/2011. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110375>



Joonis 27. Valgustusvõimsuse dünaamika broileripartii üleskasvatamise käigus

Säästuvõimalused broileriliha tootmisel.

Broileriliha tootmisel on suurimad energiakulud seotud söötade ja küttega. Nende arvelt on võimalik ka kõige enam säästa.

- Söödatootmise energiakulu saab vähendada põllutööde tõhusamaks muutmisega. Energiasäästu võimalusi on ka vilja kuivatamisel. Vilja kuivatamisest loobumiseks tuleb võtta kasutusele muud söödavilja säilitusviisid.
- Lindlate kütteks kulub rohkesti energiat kõrge sisetemperatuuri tõttu. Tibude üleskasvatamise algetapil annavad märgatavalt suuremat energiasäästu paremini termiliselt isoleeritud kanalad.
- Rohkesti väljutatakse lindlast soojust ventilatsiooniga. Suurt osa sellest soojusest on võimalik vastavate soojusvahetite kasutusele võtuga suunata tagasi lindlasse.

Piima tootmine

Imbi Veermäe, Jaan Praks, Juri Frorip, Eugen Kokin

Piima tootmisel on energia muundamise protsess suhteliselt väikese kasuteguriga, kuna põhineb energia kahekordsel transformatsioonil: taimed muudavad päikeseenergia ja pinnases olevad toitained biomassiks, mille energiast vaid 15% kasutab lehm piima tootmiseks. Intensiivsete tootmistehnoloogiate kasutusele võtt on suurendanud piimatootmise tooraine- ja energiavajadust, mistõttu jätkusuutliku tootmise üheks indikaatoriks võib lugeda ka energeetilist efektiivsust. Energiakulu arvestus veiselautades on komplitseeritud, varieerudes individuaalsetes farmides sõltuvalt asukoha kliimast, lauda suuruselt, pidamise tehnoloogiast, tehnilisest seisukor-
rast, tootmiskultuurist, sobilikkust energiakandja liigist jne. Kirjanduses esitatud andmed energiakulu kohta piima tootmisel kõiguvad suurtes pii-
rides. **Tabelis 8** tuuakse sellekohaseid näiteid.

Uus-Meremaal, kus lehmi peetakse valdavalt karjamaal, sõltub energiasisend piimatoodangusse sellest, kas karjamaid niisutatakse või mitte. Wells¹⁷ (2001) pakub keskmiseks energiasisendi näitajaks 1,84 MJ kg⁻¹ (vahemik 0,9 – 5,6), Hartman ja Sims¹⁸ (2006) 3,9 MJ·kg⁻¹ (3,0 – 5,4). Maheloomapidamises on fossiilse energia sisend piimatoodangusse väiksem kui tavataludes.

Eestis on viimasel aastakümnel kiiresti levinud suurlautade rajamine, kus lüpsikarja (300 – 1200 lehma) peetakse külmades vabalautades. Eesti suurtes külmlautades aastatel 2009 – 2011 läbi

17 Wells, C. 2001. Total Energy Indicators of Agricultural Sustainability: Dairy Farming Case. Study, Wellington: Ministry of Agriculture and Forestry
18 Hartman, K. & Sims, R.E.H. 2006. Saving energy on the dairy farm makes good sense. Proceedings of the 4th Dairy3 Conference held in Hamilton New Zealand. Centre for Professional Development and Conferences, Massey University, Palmerston North, New Zealand, pp 11-22.

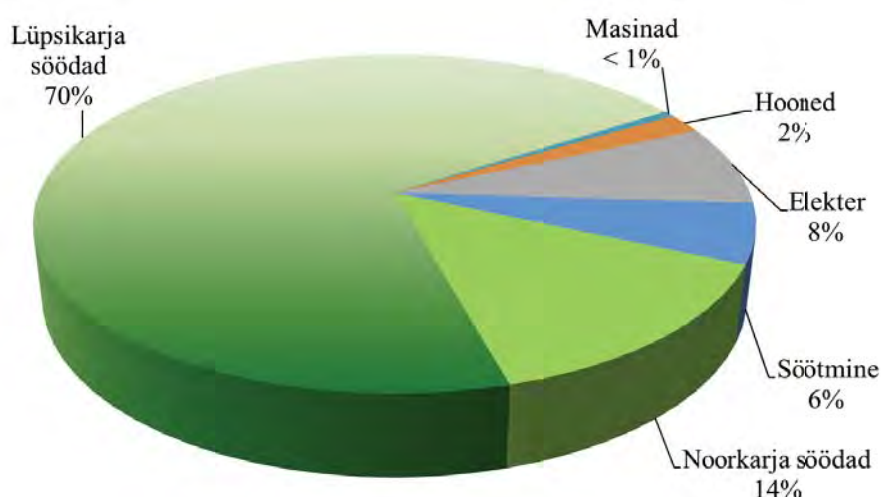
Tabel 8. Energiasisend ühe kg piima kohta

Autor	Piima tootmise energiasisend, MJ·kg ⁻¹	Märkused
Refsgaard et al., 1998	3,3	-
Refsgaard et al., 1998	2,1	mahetootmine
Ceberger & Mattsson, 2000	3,5	-
Ceberger & Mattsson, 2000	2,5	mahetootmine
Wells, 2001	1,84	vahemik 0,9 – 5,6
Hartman & Sims, 2006	3,9	vahemik 3,0 – 5,4
Grönroos, 2006	6,4	-
Grönroos, 2006	4,4	mahetootmine
Smil, 2008	5 – 7	-
Kraatz & Berg, 2009	3,5	-
Mikkola & Ahokas, 2009	1,6	energiakulu söödatootmiseks
Mikkola & Ahokas, 2009	3,2	energiakulu söödatootmiseks ja hoonetesse

viidud uurimuse kohaselt on keskmine fossiilse energia sisend 5,1 MJ ühe kg piima kohta.

Joonisel 28 on toodud elektri- ja fossiilse energiakasutuse struktuur Eesti vabapidamisega külmlaudas. Laudas kasutatav otsene energia on põhiliselt elekter ja kütused (peamiselt fossiilsed kütused), kaudne energia on söötade, ehitiste, masinate ja seadmete valmistamiseks kulu-

nud elekter ja fossiilne energia. Elektrienergiat kasutatakse lüpsmisel, piima jahutamisel, vee soojendamisel ning pumpamisel, ruumide valgustamisel, ventileerimisel ja kütmisel, sõnnikukoristamisel, ameti- ja personaliruumides sobiva keskkonna loomisel jne. Kütuseid (diiselmootor ja bensiin) kulub transporditöödeks (sööda- ja sõnnikuvedu jt) kasutatavates masinates (traktorid).



Joonis 28. Elektri- ja fossiilse energiakasutuse struktuur Eesti vabapidamisega külmlaudas

Energia säästmine piimalehmade pidamisel

Energiakulu vähendamiseks tuleb pikendada lehmade karjas püsimist piimatoodangu füsioloogilise maksimumile lähedasel tasemel, luues neile sobiva pidamise keskkonna.

Söötmine

Piimakarjatalu suurim energiatarve on seotud sööda tootmisega. Kraatz ja Berg¹⁹ (2009) järgi moodustab energiasisend söodatootmisse 50%. Eesti suurtes piimatootmise ettevõtetes kulub sööda tootmiseks, transpordiks, töötlemiseks ja hoiustamiseks 84,2% fossiilsest energiast, sealhulgas 70,2% moodustab lüpsikarja ja 14% karja täiendamiseks kasvatatava noorkarja sööt. Otse- sed energiasisendid söötade tootmisel on masi-

nate kütused ja määrdeained, loomadele söötade jagamisel mõnel juhul ka elekter. **Tabelis 9** on toodud andmed mõnede söötade tootmisel kulutatud fossiilse energia kohta (FAO soovitusel fossiilse energia arvestamiseks loomapidamisel²⁰).

Sööda tootmiseks kulunud energia kogus sõltub loomade ratsioonist ning eriti selle jõusööda sisaldusest, kuna võrreldes koresöödaga nõuab jõusööda tootmine tunduvalt rohkem energiat

19 Kraatz S., & Berg W.E. 2009. Energy Efficiency in Raising Livestock at the Example of Dairy Farming. ASABE Annual International Meeting Grand Sierra Resort and Casino Reno, Nevada June 21 – June 24, An ASABE Meeting Presentation Paper Number: 096715 19 p.

20 Sainz R.D. 2003. Fossil fuel component. Framework for calculating fossil fuel use in livestock systems. <http://www.fao.org/WAIRDOCS/LEAD/X6100E/x6100e00.htm#Contents>

Tabel 9. Sööda tootmisse talletatud fossiilne energia (MJ·toodetud sööda ühe kg kohta)

Söödaliik	Tootmine	Transport	Töötlemine	Kokku
Lutsern, hein	-	-	-	1,59
Oder	3,74	0,07	-	3,81
Hein	-	-	-	2,77
Maisigluteensööt	-	-	12,46	12,46
Mais	4,22	0,08	0,82	5,13
Maisisilo	-	-	-	2,33
Kaer	2,63	0,12	-	2,75
Sool+mineraalid	-	-	-	0,38
Sojaoakestad (jahu)	4,41	0,09	1,11	5,61
Nisu	3,96	0,07	-	4,03

(Barnett & Russell, 2010²¹). Kõige vähem energiat (0,84 MJ kg⁻¹ karjamaarohu kuivaine kohta) kulub karjatamisel, sest masinaid kasutatakse ainult väetamiseks ja kultiveerimiseks (Kraatz & Berg, 2009²²).

Optimaalse piimatoodangu saamiseks tuleb aga lehma sööta ratsiooniga, mis koosneb kvaliteetsetest söötadest ning sisaldab loomade füsioloogilise tarbele vajaliku koguse toitefaktoreid. Piimatoodangu suurenedes väheneb energiakulu toodanguühiku kohta. Selline efekt toimib teatud toodangutasemeni, mida ületades hakkab energiatarve suurenema eelkõige jõu-

sööda osatähtsuse suurenemise tõttu ratsioonis. Toodangu optimaalseks tasemeks peetakse üldiselt 8000 – 10 000 kg piima lehma kohta aastas (Kraatz, 2012²³).

Energiavoogusid piimakarja pidamisel mõjutab lehmade asendamiseks ja karja täiendamiseks vajalike noorloomade kasvatamine. Mullika üleskasvatamiseks on vaja 13 – 16 GJ energiat. Eesti suurtes piimtootmise ettevõtetes kulub 14% fossiilset energiat sööda tootmiseks noor- karjale. Karja toodangu tasemel 8000 kg piima lehma kohta aastas võiks lehmade väljavahetus olla mitte üle 25 – 30% aastas (Kraatz, 2012²⁴).

21 Barnett J. & Russell J. 2010. Energy Use on Dairy Farms. Environmental issues at dairy farm level. *Bulletin of the International Dairy Federation*. **443**, 23-32.

22 Kraatz S., & Berg W.E. 2009. Energy Efficiency in Raising Livestock at the Example of Dairy Farming. *ASABE Annual International Meeting Grand Sierra Resort and Casino Reno, Nevada June 21 – June 24, An ASABE Meeting Presentation Paper Number: 096715* 19 p.

23 Kraatz S. 2012. Energy intensity in livestock operations – Modeling of dairy farming systems in Germany. *Agricultural Systems*, 110, 90-106.

24 Kraatz S. 2012. Energy intensity in livestock operations – Modeling of dairy farming systems in Germany. *Agricultural Systems*, 110, 90-106.

Söödas talletatud energia kokkuhoiuks võib soovitada järgmist:

- maksimaalselt kasutada võimalusi loomade karjatamiseks,
- suurlautade puhul on otstarbekas karjatada peamiselt noorloomi ja kinnislehmi,
- vähendada ratsioonis võimaliku (mõistliku) piirini jõusöötade osakaalu.

Ehitised ja masinad

Ehitiste ja masinate osa piimatootmise energiabilansis on suhteliselt väike. Ehitiste energiamaahukamaks osaks on põrand, mille energiasisend sõltub selle konstruktsioonist. Masinate energiasisendi osatähtsus sõltub nende kasutamise intensiivsusest, kestvusest ning töökorraldusest.

Elektrienergia tarbimine

Elektrienergia tarbimise jaotus Eesti külmalaudas on toodud **joonisel 29**. Elektrienergiat kasutavad järgmised seadmed ja tehnoloogilised protsessid: lüpsisüsteem, piima jahutussüsteem, valgustus, ventilatsioon, vee soojendamine ja lüpsiseadmete pesu, veevarustuse ning suruõhu süsteemid. Kõige suurem ja raskemini mõõdetav kuluartikkel on “muu tarbimine”, mis sisaldab sise- ja välisvalgustust, kontoriseadmeid, elektritarbimist mitmel otstarbel kasutatavate pistikupesade kaudu (näiteks teatud perioodil ruumide kütmiseks talvel).

Teine olulisem elektrienergia tarbimise osa on seotud piimaga (lüps ja piima jahutamine). Kõikides tarbimiskohtades on olemas ener-

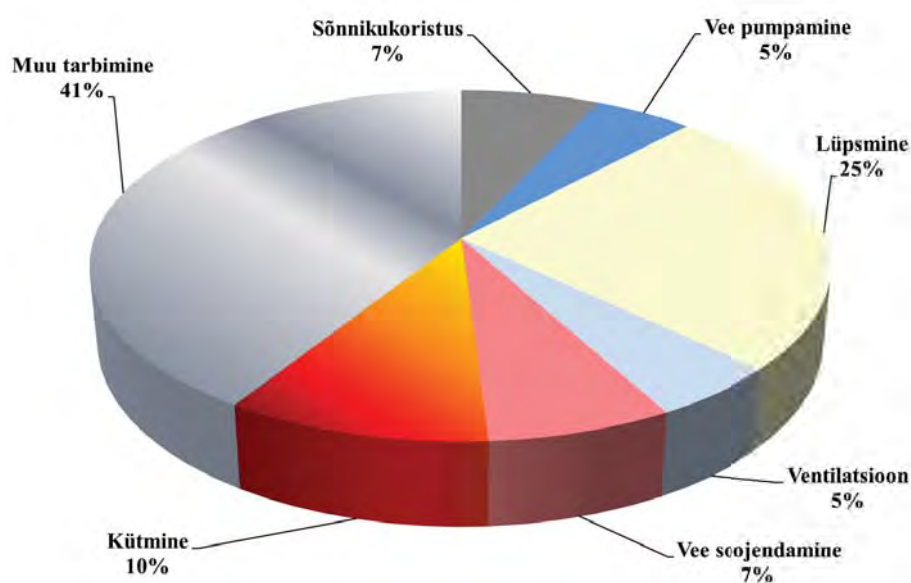
giäsäästu võimalused. Esimene ja kõige odavam energiasäästu reegel on olemasoleva seadmestiku korrapärane hooldamine tippkoormuse tingimustes. Kulunud ja halvasti hooldatud seadmed kasutavad rohkem energiat, eriti siis kui ei järgita tootja poolt ettenähtud ekspluatatsiooninõudeid.

Lüps

Piimatootmise üheks olulisemaks osaks on lüps, mis toimub kaks või kolm korda päevas ning 365 päeva aastas (**joonised 30 ja 31**). Lüpsisüsteemi valik, installeerimine ja hooldus määravad lüpsi efektiivsuse ja kvaliteedi. Lüpsitehnoloogia tiipset esindavad lüpsirobotid. Nende energiakulu on ligikaudu sama suur või veidi suurem kui lüpsiplatsidel²⁵. Lüpsiroboti kasutamisel saab energiat mõningal määral kokku hoida valgustuse ja eriti tööjõudu arvelt. Teisest küljest kasutab lüpsirobot rohkesti pesuvett.

Lüpsi ajal tarbib märgatavas koguses energiat vaakumpump. Selle energiatarbimise vähenda-

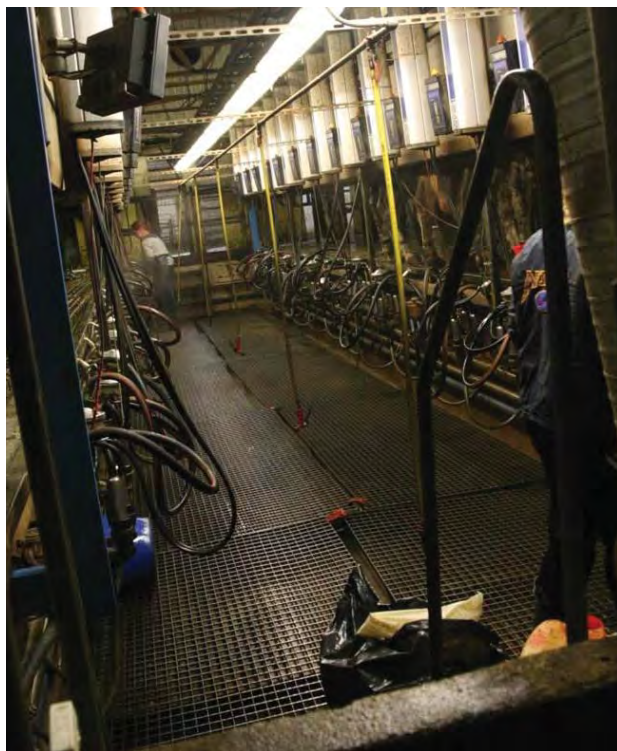
25 Brøgger-Rasmussen, J. & Pedersen, J. 2004. El och vandforbrug ved mælkning [Electricity and Water Consumption in Milking]. Århus. Dansk Landbrugsrådgivning. Landscentret. FarmTest Kvæg nr 17.



Joonis 29. Seiretalu elektrienergia tarbimine 2011. aastal

miseks võib piirata pumba tühikäigu võimsust või kasutada sagedusmuundit pöörlemiskiiruse vähendamiseks. Mõlema lahenduse puhul on eesmärk vähendada elektrienergia tarvet mini-

maalse tasemeni, siis kui seade ei ole täielikult koormatud. Tänu nendele lahendustele on vaakumpumba energiakulu võimalik vähendada kuni 60%.



Joonis 30. Seiretalu lüpsiplats



Joonis 31. Lüpsirobot Helsingi Ülikooli katselaudas

Lüpsmiseks vajaliku vaakumpumba elektrienergia tarvet on võimalik vähendada kahel viisil:

- kiiruse muutmisega,
- pumpadele sagedusmuundurite paigaldamisega.

Piima jahutamine

Suurim kogus piima tootmisel kulutatavast elektrienergiast kulub piima jahutamisele. Joogi-piima ja piimasaaduste hea kvaliteedi tagamiseks on oluline piima kohene jahutamine $\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ -lt $4 - 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ni, kuna sellisel temperatuuril säilivad piima bakteritsiidseid omadused ning välditakse mikroobide kiire paljunemine. Laudas hoitakse piima jahutusseadmega varustatud piimatankis (**joonis 32**).

Piima kiireks jahutamiseks kasutatakse kahte erinevat jahutussüsteemi.

- Piimatankis, mis on varustatud külmutus-seadmega. Selle puuduseks on suhteliselt pikk jahutustsükkel ja varasemalt lüpstud piima mõningane soojenemine lüpstava piima toimetel.
- Piima kombineeritud jahutamist: esmalt lüpstava piima suunamist läbi pidevtoimelise plaatjahuti ja selle täiendavat jahutamist piimatankis.

Jahutusagensina kasutatakse seejuures jää-
vett, glükooli lahust vms. Piima jahutamisel va-

banevat soojusenergiat saab kasutada vee soo-
jendamiseks, õhu- või põrandakütteks.



Joonis 32. Seiretalu piimatank (vasakul) ja plaatsoojusvaheti lüpstava piima soojuse taaskasutuseks (paremal)

Võtted elektrienergia kokkuhoiuks piima jahutamisel on järgmised:

- piimamahuti korralik isoleerimine,
- suure kasuteguriga soojusvahetite kasutamine,
- jahutuskompressoritest eralduva soojuse kasutamine,

Valgustus

Lauda valgustus on energiakulu, mis sageli jääb tähelepanuta. Uuringutest on selgunud, et valgustus moodustab ligikaudu 18% lauda elektrienergia kulust (Annuk et al., 2004²⁶). Selle eri osad vajavad erinevat valgustust:

- suurendatud valgustihedusega alad: lüpsi- ja pesualad, kontori- ning remondiruumid jne,
- keskmise valgustihedusega alad: söötmis- ja hooldusalad jne,
- madala valgustihedusega alad: oote- ja puhkealad jne.

Maksimaalselt tuleks ära kasutada loomuliku valgust (**joonis 33**). Oluline on valida sobiv

26 Annuk, A., Nurste H., Damskier S.S. 2004. Energy Efficiency in Intensive Livestock, Estonia. 24 pp.

valgustussüsteem lauda erinevate osade jaoks. Ebaefektiivne on kasutada kallist valgustust seal, kus seda ei ole vaja. Näitena võib tuua laoruumid, kus tööperioodid on lühikesed.

Kasutatakse järgmisi valgusseadmeid:

- hõõglambid,
- halogeenlambid,
- luminofoor- ehk päevavalguslambid,
- elavhõbedalambid,
- metallhaliidlambid,
- naatriumlambid.

Valgustite valik annab energia kokkuhoiuks

mitmeid võimalusi. Valida on kas uue valgustustehnoloogia või programmeeritavate juhtsüsteemide vahel, mis võimaldavad puhke- ja söötmisalal valgustiheduse perioodilist suurendamist ilma, et kahjustataks lehmade heaolu ja toodangutaset. Üheks kokkuhoiu võimaluseks on vanade luminofoor- ja halogeenlampide väljavahetamine efektiivsemate vastu, nagu näiteks naatriumvalgustite vastu. Kõrgesurve naatriumvalgustid toodavad 5 – 6 korda rohkem valgust ning tarbivad vähem energiat kui hõõg- või halogeenvalgustid²⁷.

²⁷ Ludington C., Johnson E., Kowalski A., Mage A. (2004, 02). California. Dairy farm energy management. P 63.



Joonis 33. Seiretalu suurlaudas on valgustuse parandamiseks kasutatud läbipaistvaid katusepaneele

Energia kokkuhoiu võimalused:

- hõõglampidega valgustid tuleks asendada luminofoor- või naatriumvalgustitega,
- oote-, puhke- ja söötmisaladel tuleks maksimaalselt kasutada päevavalgust,
- ruumides, kus tehakse tööd harvem, tuleks valgustuse sisselülitamiseks kasutada liikumisandureid,
- puhkealadel saaks öösiti vähendada valgustuse intensiivsust 50% kasutades automaatjuhtimist,
- kogu välisvalgustus tuleks asendada metallhaliidvalgustitega.

Ventilatsioon

Lauda sisekliima tagav ventilatsioonisüsteem määrab õhu temperatuuri, niiskusesisalduse, hapnikutaseme jne, seega ka loomade heaolu. Lehmad kannatavad rohkem kuumuse kui külma tõttu, sellepärast on ka suvine ventilatsioon väga tähtis. Suvel saab laudas temperatuuri alandada mitmel moel:

- loomuliku ventilatsiooniga,
- sundventilatsiooniga,
- vee piserdamisega õhku.

Loomuliku ventilatsiooni efektiivsus tagatakse laudahoone läbimõeldud konstruktsiooniga. Hooned võivad olla erinevad: madalad ja avatavate seintega või kõrged ja tuulekodadega (ventilatsioonikorstnatega) katusel. Madalal ruumil on eeliseid talvel, kuna ruumi kütmiseks kulub vähem energiat, kuid suvel on nendes umbsem. Mõlema hoone tüübi puhul toimub loomulik

ventilatsioon läbi seintes olevate avade, mille ette paigaldatakse tõstetavad kardinaad või katted. Sundventilatsiooni puhul kasutatakse täiendavaid ventilatsiooniseadmeid:

- sein- ja laeventilaatorid, mis võivad olla lahtist või kinnist tüüpi,
- eelsoojendusega värske õhu kanalventilaatorid.

Suvised kuumuse leevendamiseks kasutatakse vajadusel aeglaselt pöörlevaid suure läbimõõduga vertikaalpaigutusega laeventilaatoreid (eriti ootealal) ning söömis-puhkeala kohale paigaldatud horisontaalseid ventilaatoreid (**joonis 34**).

Loomulikult ventileerimisel on väga tõhusaks vahendiks lautade katustel paiknevad reguleeritavad tuulekojad (ventilatsioonikorstnad). Avatud seinte ning katusel olevate tuulekodade vahel on rõhkude vahe ning tekib tuuletõmme. Sellise lahenduse puhul on sageli isegi palavate ilmade korral võimalik hakkama saada ilma sundventilaatoreid kasutamata.



Joonis 34. Vabapidamisega suurlauda ventilaatorid söömis-puhkeala kohal

Sundventileerimisel saab elektrienergiat kokku hoida:

- kasutades astmelist ventilaatorite kiiruse juhtimist,
- kasutades kiiruse reguleerimist sagedusmuunduritega (muutes pöörlemiskiirust näiteks vastavalt õhu süsihappegaasi sisaldusele).

Veevarustus ja vee soojendus

Töökindel ja tõhus veevarustus on loomapidamisel eluliselt tähtis. Uuringute andmetel kuulub ligikaudu 5% elektrienergiat külma vee pumpamiseks ja 7% vee soojendamiseks. Lüpsmisel kulub iga looma kohta vähemalt 17 l sooja vett ööpäevas (Annuk et al.²⁸).

28 Annuk A., Kaasik A., Kiiman H., Ots M., Kärt O., Nurmekivi H., Oinus N. 2012. Saastuse kompleksne vältimine ja kontroll. Parim võimalik tehnika veiste intensiivkasutuses. p.15 - 16.

Sooja vee varustus võib olla kahte tüüpi:

- tsentraalne,
- lokaalne iga lüpsiseadme juures.

Lüpsirobotid kasutavad lokaalseid sisseehitatuid veesoojendeid, lüpsiplatsil kasutatakse tsentraalset veesoojendust. Elektrienergiat on võimalik kokku hoida seadmete ja torustiku isoleerimisega. Tootmisruumides tuleks sooja vee torustik isoleerida 30 mm klaasvilla kihiga fooliumis, külmades ruumides ja ootealadel võiks kasutada 50 mm paksust isolatsiooni kihti.

Energiat on võimalik kokku hoida ka sooja vee tootmisel, asendades elektriküttekehasid teiste energiaallikatega:

- jääksoojus piima jahutusseadmetest,
- jääksoojus ventilatsiooniseadmetest,
- vee soojendamine kuumaveekateldega, mis töötavad kohalikul taastuval kütusel: energiavõsa, puit ja võsa, hein, põhk jne,
- vee soojendamine maasoojuspumpadega; antud juhul asendatakse kütteks kasutatavat elektrienergiat osaliselt.

Soojusenergiat on võimalik kokku hoida:

- kasutades täispuhutavaid seinakatteid (**joonis 35**) loomulikult ventileerimisel,
- paigaldades katusel olevatesse tuulekodadesse (ventilatsioonikorstnatesse) õhk-õhk või õhk-vesi tüüpi soojusvahetid. Soojusvahetite soojust võib kasutada kas värske õhu või vee soojendamiseks.



Joonis 35. Seiretalu suurlauda täispuhutavad seinad

PÖLLUMAJANDUSTALU TAASTUV JA KOHALIK ENERGIA

Winfried Schäfer, Tapani Jokiniemi, Juri Frorip, Jukka Ahokas



Foto: Väino Poikalainen



Taastuva ja kohaliku energia allikad on põllumajanduslik tootmine, selle kõrvalsaadused ja ...



... looduslik ressurss (fotod: Toivo Suuroja)

Taastuvenergia kasutamine

Winfried Schäfer

Biokütuste all mõistetakse kütuseid, mille valmistamiseks kasutatakse taimset tooret või loomset päritolu biomassi. Kuna ka fossiilsed kütused on tekkinud põhimõtteliselt bioloogilistest materjalidest, on biokütuste defineerimise teiseks kriteeriumiks taastuvus: kütuste tootmiseks kasutatav toore peab taastuma samasuguse kiirusega nagu seda tarbitakse. Sageli eeldatakse, et biokütused koormavad keskkonda vähem kui fossiilsed kütused. See ei kehti kõigi biokütuste kohta, sest nende keskkonnamõjud olenevad suuresti valmistusviisist ja toormest.

Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiiv 2009/28/EÜ taastuvatest allikatest pärineva energia kasutamise edendamiseks, seab liikmesriikidele selged arengu eesmärgid (**tabel 1**).

Taastuvenergia tootmiseks vajalik pindala on muude energiaallikate omast märgatavalt suu-

rem. **Tabelis 2** on näitena toodud ühe teravatt-tunni (TWh) tootmiseks vajalik pindala erineva päritoluga taastuvenergia liikide kohta.

Ülemaailmne toiduga varustatuse vähenemine on tekitanud vajaduse direktiivi 2009/28/EÜ muutmiseks. Euroopa Liidus on aru saadud, et biokütused pole nii keskkonnasõbralikud, kui algul arvati. Samuti väheneb nende arvelt toidutootmine. Kõigele vaatamata "... on selliste põllumajanduslike kõrvalsaaduste nagu vedelsõnniku ja loomset päritolu jäätmete kasutamine biogaasi tootmiseks keskkonda saastavate kasvuhoonegaaside vähendamise seisukohast igati õigustatud. Eriti kui pidada silmas biogaasist soojuse, elektri ja biokütuste tootmist. Olemuslikult hajusatena ja piirkondlikke investeeringuid soodustavatena, võivad biogaasijaamad oluliselt edendada maapiirkondade jätkusuutlikku arengut ning pakkuda talunikele uusi teenimisvõimalusi" (EL-direktiiv 2009/28/EÜ).

Tabel 1. Baltimaade, Soome ja Rootsi taastuvenergia osakaal kogu energiatarbimises

Riik	Taastuvatest allikatest pärineva energia osakaal kogu energiatarbimisest 2005 %	Hinnanguline taastuvatest allikatest pärineva energia osakaal kogu energiatarbimisest 2020 %
Eesti	18,0	25
Läti	32,6	40
Leedu	15,0	23
Soome	28,5	38
Rootsi	39,8	49

Tabel 2. Ühe TWh elektrienergia tootmiseks aastas vajalik pindala erinevate allikate korral

Allikas	Pindala vajadus ha	Aastane energiatootlus MWh / ha	Energeetiline efektiivsus	Kulud € / MWh	Seadmete kasutamisega aastates
Biomass	200 000	5	1:7	41	30
Vee energia	75 000	13	1:24	14	30
Tuuleenergia	9 500	105	1:4	50	30
Päikesepaneelid	2 800	357	1:7	179	30
Maasoojus	30	33 333	1:48	46	20

Energiataimi peetakse oluliseks taastuenergia allikaks, kuigi paljud kahtlevad, kas nendega on võimalik jätkusuutlikult korvata fossiilseid kütuseid. Elavas taimes tekib, lisaks süsivesikutele, veel mitmeid keeruka ehitusega keemilisi ühendeid, millest valmistatakse toiduaineid, söötasid jt tooteid. Paljusid taimseid tööstustoodangu jääke ja taimseid tooteid õnnestub, pärast kasutusaja lõppemist, omakorda ära kasutada energeetilisel otstarbel. Kui näiteks päideroost toota esmalt paberit ja paberi taaskasutusel valmistada sellest soojusisolatsiooniks sobilikku tselluvilla, säästetakse kokku kuni sada korda enam soojusenergiat, võrreldes sama päideroo

põletamisel saadava soojusega.

Põllumajanduses on taastuvate energia ressursside kasutamine igati loomulik, sest põllumajandusliku tootmise käigus tekib kõrvalsaadusi, millised on kõlblikud energeetiliselt otstarbeks. Teraviljatootmisel tekkivale põhule oleks praegusest märgatavalt enam energeetilisi rakendusi. Samuti saab sõnnikust toota biogaasi ilma, et sellest taimedele vajalikud toitained kaotsi läheksid. Talumetsa raiejäätmeid ja harvenduspuid saab kasutada kütteks. Põllumajandustalud võivad ka ise energiat või taastuvaid kütuseid toota ning turustada.

Taastuenergia:

- EL liikmesmaades on kehtestanud taastuenergiade arenduseesmärgid, mille kohaselt tuleb laiendada taastuenergia kasutust.
- Võrreldes muude taastuenergia allikatega, vajatakse biomassi tootmiseks täiendavat pindala, mis tekitab ebasoovitavat konkurentsi toidutootmisele. Põllul toodetava biomassi kasutamine kütuse ja küttematerjali tootmiseks on problemaatiline, sest see tõstab toiduainete hindu ja vähendab põllumaa osakaalu toidutootmises. Maa elanikkonna pidev kasv tingib aga vajaduse suurendada toidutootmist.

Tahked kütteained

Juri Frorip, Jukka Ahokas

Hakkpuit

Hakkpuit on tüüpiliseks põllumajandustaludes kasutatavaks kütteaineks. Hakkpuidu eeliseks, võrreldes halupuude kasutamisega, on küttesüsteemi automatiseerimise võimalus. Tänu küllalt väikesele peenestusastmele saab seda katlasse sisestada näiteks tigutranspordööri abil. Hea peenestusastmega homogeense kütte korral on katlas toimuv põlemisprotsess paremini juhitav ja selle kasutegur kõrge.

Hakkega kütmisele üleminekuks tuleb teha investeeringuid. Lisaks katlale ja selle etteand-süsteemile vajatakse veel kütteladu ja hakkurit.

Hakke valmistamisele kuluv aeg on suhteliselt lühike, mistõttu võib seda lasta teha ka tellimustööna või soetada mitmele kasutajale ühine puiduhakkimise seade. Kui põllumajandustalus tuleb kütta ka tootmishooneid, siis nende kütmine on otstarbekas ühildada vilja kuivatamiseks vajaliku soojatootmisega. Üldjuhul on küll vilja kuivatamiseks vajalik võimsus muust soojavajadusest suurem, kuid ainuüksi ühine kütteladu võimaldab investeeringuid vähendada. Kohalike küttaintade kasutamise kohta hoonete kütmiseks ja teravilja kuivatamiseks on välja antud mitmeid juhendmaterjale¹ ning rohkesti leidub sellekohast

¹ Viljankuivatus kotimaisella polttoaineella – opas. http://www.bioenergiatieto.fi/default/?__EVIA_WYSIWYG_FILE=4550&name=file

teavet ka internetis².

Hakkpuit on antud hetkel Eesti keskmise võimsusega katlamajades kõige populaarsem sooja tootmiseks kasutatav taastuvenergia allikas. Seda saadakse nii harvendusraiest kui ka raiejäätmetest. Mets ei ole seejuures ainuke hakkpuidu allikas. Selleks sobilikku materjali on võimalik hankida põllu- ja teeäärte, jõgede kallaste ning elektri- ja sideliinide all olevate alade puhastamisel.

Haket tuleb varuda varakult enne kütteperioodi algust. Kuiva hakke saamiseks peab kasutatav materjal jõudma kuivada. Teiseks võimaluseks on märja hakke hilisem kuivatamine spetsiaalses kuivatis. Värske puidu niiskusesisaldus ületab sageli 50%. Nii märga haket on võimalik põletada vaid suurtes kateldes. Väikeste katelde (võimsusega alla 100 kW) kasutamisel peaks hakke niiskusesisaldus olema alla 30%. Kütteaine kütteväärtus sõltub selle niiskusesisaldusest (vt "Põllumajanduslik energiakasutus", joonis 1 ja "Energiakasutuse seire põllumajandustalus", joonis 5). Osa energiast kulub kütteaines sisalduva vee aurustamiseks, mis alandab põlemistemperatuuri ja takistab põlemist. Niiskusega kaasneb veel hallituserisk, sest soojas laos säilitamisel läheb hakkpuit kiiresti hallitama. Sellise hakkega kokku puutuval inimesel võib hallitus põhjustada hingamisteede kahjustusi.

Kasutatakse kahte põhilist põletamistehnoloogiat: kuiva ja märja hakkpuidu põletamist. Kuiva kütuse põletamise katlad on lihtsa konstruktsiooniga. Märja hakke põletamiseks sobivad kas liikuvate restidega katlad või keevkihtkatlad. Viimaseid rakendatakse suurtes katlamajades. Kuiva hakke katlad on mõeldud 30 – 35% niiskusesisaldusega kütuse põletamiseks. Märja hakke kateldes võib aga hakke niiskusesisaldus ulatuda peaaegu 55%.

Põhk

Põhk on taimekasvatuse kõrvalsaadus, mida on võimalik kasutada ruumide ja vee soojendamiseks. Pärast vilja koristamist pressitakse põhk pallideks, mis tuleb ladustada nii ruttu kui võimalik. Põhjapoolsetes maades segab põhu kasutust kütteks sageli selle kõrge koristusjärgne niiskusesisaldus, mis jääb vahemikku 30 – 60%. Väikestes kateldes põleb see korralikult alles siis, kui niiskusesisaldus on alla 20%. Soodsa ilmaga koristamisel on põhk kuiv, kuid vihmasel koristusperioodil jääb selle niiskusesisaldus liiga kõrgeks. Sellega kaasneb sageli ka hallitus, mis ohustab hingamiselundite tervist. Probleemiks on veel see, et põhku tuleb varuda kiirel saagikoristuse perioodil. Kõige lihtsam on küttepõhku varuda taliviljade koristamise käigus, mis toimub varem ja siis põhk ka kuivab paremini. Paraku tuleb leppida sellega, et meie kliimas toimub viljakoristus sügiseti, kord aastas ning soojatootmiseks vajalik põhk tuleb varuda terveks kütteperioodiks korraga.

Põhupallide erikaal on 100 – 150 kg/m³, mis hakkpuiduga võrreldes on kaks korda väiksem. Seega peab ka talvekütte laoruumide mahutavus põhu kasutamisel olema vähemalt kaks korda suurem kui hakkpuidu kasutamisel.

Põhu tuhasisaldus on 5 – 7%, samal ajal kui puidus on tuhka alla ühe protsendi. Kõigele lisaks on põhutuha sulamistemperatuur (sõltuvalt teraviljaliigist) 700 – 1200 °C. Rohke sulanud tuha kogus moodustab kõva šlakikihi, mis lämmatab leeki. Seetõttu peab katlas põhu põletamisel kasutama šlakikihti purustavaid liikuvaid reste. Põhu tuhk sisaldab kloori, mis söövitab katla soojusvahetuspinde. Korrosiooni takistamiseks peavad need pinnad olema valmistatud erimaterjalist. Korrosiooniohtu aitab vähendada see, kui põhul lasta eelnevalt põllul vettida, mille toimele kloorisisaldus väheneb. Põhutuha omadused sõl-

² www.bioenergiatieto.fi, <http://www.motiva.fi/julkaisut/lammitysjarjestelmat>

tuvad teravilja liigist. Odrapõhu tuhk sulab madalamal temperatuuril kui nisupõhu tuhk. Kõige kõrgem sulamistemperatuur on rapsipõhu tuhal.

Põhu põletamiseks on välja töötatud erikonstruktsiooniga katlad, mis arvestavad antud kütuse eripära. Lihtsaima põhu põletusviisi korral rakendatakse sellist katelt, kuhu mahub ära terve põhupall korraga. Selle sisestamine toimub näiteks frontaallaaduriga. Põhupall süüdatakse põlema altpoolt ning põlemisõhk suunatakse katlasse ülaltpoolt. Antud põletamisviisi puuduseks on see, et protsess ei toimu mitte pidevalt vaid tsüklikult. Enne kui eelmine põhupall pole lõplikult ära põlenud, ei saa katlasse järgmist sisestada. See muudab katla kasutamise ebamugavaks, kasuteguri madalaks ning küttesüsteemis peab olema veemahuti soojuse akumulatsiooniks.

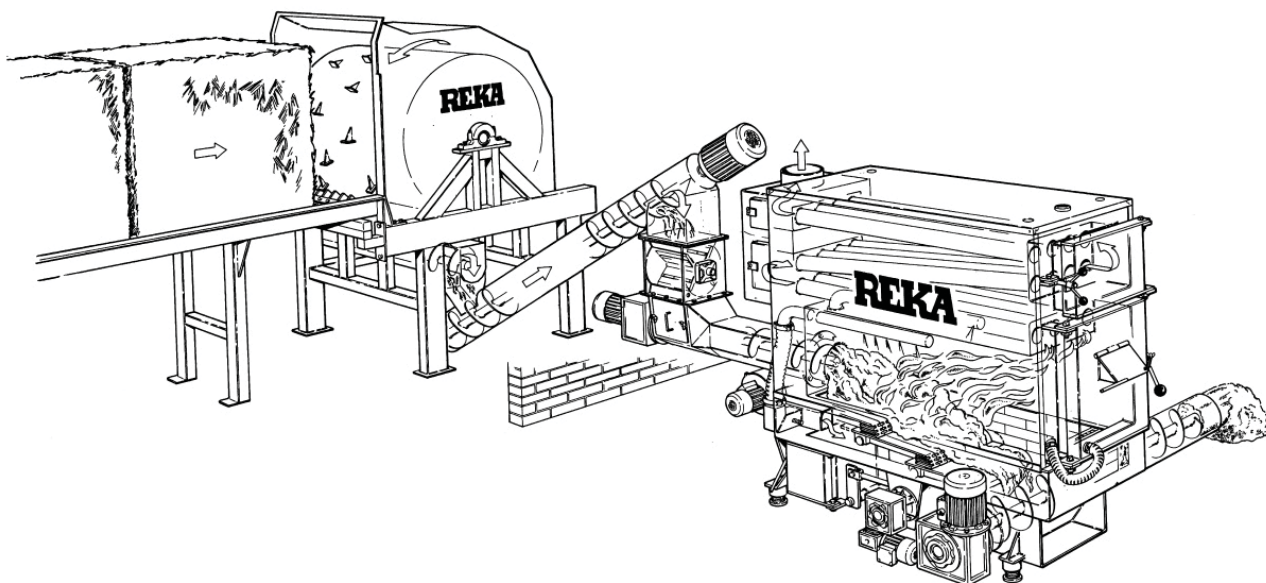
Efektiivselt põleb põhk siis, kui see enne põletamist ära peenestada³ (joonis 1). Siis on nii kütte etteandmist kui põletusprotsessi võimalik automatiseerida. Automatiseerida saab ka tuhaeraldust, kas kuivalt või märjalt (veevanni kau-du). Põlemistuhk on kasutatav mh väetisena.

3 REKA A/S. Burning systems. Denmark. <http://www.reka.com/Engelsk%20hj.%20side/Products/Chaff-cutter%20CC%20850-1.htm>

Paljudes looma- või viljakasvatustaludes on võimalik vett soojendada oma põhuga. Näiteks 520 piimalehma ja 450 noorloomaga laudakompleks kasutas aastas oma viljapõldudelt kogutud põhust 440 000 kg söödaks ja 238 000 kg allapanuks. Antud laudakompleksis teostatud elektrimõõtmistel ilmnes, et 16% ehk 83 162 kWh elektrienergiat kulub kuuma vee tootmiseks ja ruumide kütteks. Võttes arvesse põhu kütteväärtust ning põhupõletuskatelde keskmist kasutegurit (80%), kataks antud farmi aastase sooja vee ja kütte vajadused 48 548 kg põhku.

Turvas

Turvas on aeglaselt taastuv energiaallikas, mis klassifitseeritakse fossiilseks kütteaineks. Eestis on turvas praegu soojatootmise katlamajades hakkpuidu järel teiseks enamkasutatavaks biokütteaineks. Turvas on energiaressurss, mis on tekkinud taimedest hapnikuvaeses ja veerohkes keskkonnas ning koosneb eelkõige osaliselt lagunenuid taimedest ja huumusest. Turba olulisimad kvaliteedinäitajad on turba lagunemisaste, niiskusesisaldus, tuha ehk mineraalainete sisaldus, tihedus ja kütteväärtus. Põhilised küttureturba liigid on frees- ja tükkurvas.



Joonis 1. Taani firma REKA põhupõletuse liin

Turba põletamiseks vajatakse põhuga võrreldes erinevaid seadmeid. Sarnaselt põhuga on ka turbapõletamise probleemiks suur tuhakogus. Sõltuvat lagunemisastmest ja soo tüübist on turba tuhasisaldus 2 – 10%. Turba tuhk ei sula nii madalal temperatuuril kui põhu tuhk, kuid see jääb puidutuha sulamistemperatuurist ikkagi madalamaks. Tuha sulamine takistab põlemist, mida tuleb arvestada turbaga kütmiseks sobiliku katla valikul.

Frees- või tükkturba põletamiseks sobivad nii liikuvate restidega kui ka keevkihtkatlad. Turba põletamisel kasutatakse sageli osa suitsugaaside tagasisuunamist õhu sisestuskanalitesse. See alandab põlemistemperatuuri, mille tulemusel väheneb ka tuha sulamise oht. Turba sisestus- ja tuha väljutusseadmed on samasugused nagu hakkpuidukateldes. Turbakateldes võidaksegi kasutada küttena ka hakkpuitu.

Tahked kütteained:

- Sageli on põllumajandustaludel metsa, mille harvendus- ja raiejäätmeist on võimalik valmistada kütteks sobikku hakkpuitu.
- Põhku on kütteinena tülilikam kasutada kui hakkpuitu, kuna selleks vajatakse spetsiifilise ehitusega küttekoldeid. Samuti on piisavalt kuiva põhu koristamine seotud raskustega.
- Turvas on aeglaselt taastuv kütteaine. Turbaga köetavas katlas saab kasutada ka hakkpuitu, kuid vastupidine pole alati võimalik.
- Tahkete kohalike kütteainete kasutamisega tuleb näha enam vaeva kui kütteõli või elektriga kütisel. Investeerimiskulud on suuremad, aga kütteainekulud väiksemad.

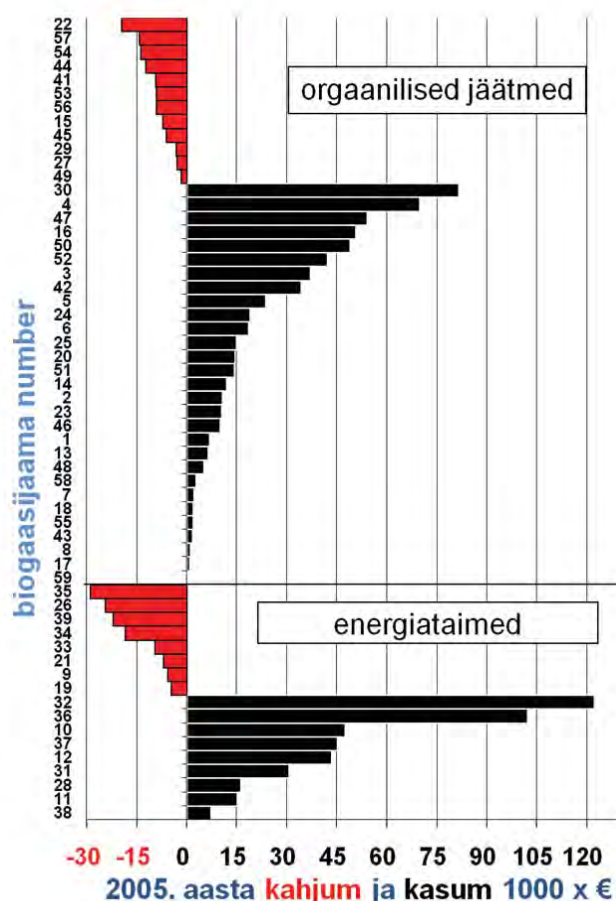
Biogaas

Winfried Schäfer

Edukas biogaasi tootmine talus eeldab head projekti ja oskusteavet. Aastatel 1996 – 1997, 2001 – 2004 ja 2005 – 2008 koguti saksa põllumajanduslike biogaasijaamade kohta tehnilisi ja majanduslikke andmeid. Esimesse andmekogumise vooru hõivati 66 Lõuna-Saksamaa põllumajandustalu ning selle tulemused avaldati 1999. aastal. Teise ja kolmanda vooru kaasati vastavalt 59 ja 61 talu kogu Saksamaalt. Teise ja kolmanda vooru analüüsitulemused on avalikud ning internetist tasuta saadaval. Esimene taastuvenergia seadus jõustus Saksamaal 01.04.2000. Selle kohaselt kohustus elektrienergiat tootev tööstus biogaasist toodetavat elektrit kokku ostma hinnaga 10,23 senti kilovatt-tund. Varem oli hinnaks 7,85 s/kWh. Seadust muudeti 01.08.2004 nii, et biogaasist toodetava elektri eest hakati maksma

koguni 21,5 s/kWh. Seadusandluse muutmise järgselt suurenes 2004. aastaks uute biogaasi-reaktorite keskmine mahtuvus 193 m³-ni. Reaktorite maksumus oli siis keskmiselt 602 349 € ja nende ühe kuupmeetri maksumuseks kujunes 378 €. Maksumust suurendas üha laienev energiataimede kasutamine, milleks tuli hakata rakendama keerukamat biomassi sisestustehnikat. Investeeritud kapitali tootlus vähenes üllatuslikult 2,7%-ni ja keskmine tasuvusaeg (11,1 aastat) jäi püsima endisele tasemele. Uuringus kogutud andmete analüüsist selgus, et suur biogaasijaam ei taga veel suurt kasumlikkust, pigem vastupidi. 1997. aastal oli biogaasi reaktorite keskmine mahtuvus 474 m³ ning keskmine soetushind 132 000 €, seega maksis reaktori kuupmeeter siis 278 €. Investeeritud kapitali tootlus oli 4,7% ning

investeeringu tasuvusaeg 11,3 aastat. Kasumlike reaktorite omanikud olid sageli ise osalenud biogaasijaama ehitamisel ja said hüvitisena nn väravamaksu vastuvõetavate toidu- ja tapajäätmete



Joonis 2. Saksa põllumajanduslike biogaasijaamade kasumid ja kahjumid 2005. aastal

kääritamisest. Peaaegu pool biogaasijaamadest töötavad kahjumiga siis, kui toormena kasutatakse ainult energiataimi (**joonis 2**).

Kuigi 2004. aastal energiataimede kasutamise doteerimist suurendati 2,5 s/kWh, ei suutnud 20% energiataimi kasutavatest biogaasijaamadest ikkagi jõuda kasumisse. Kui 2008. aastal tõusid loomasöötade hinnad, ähvardas mitmeid biogaasijaamu pankrott. Hindade tõus võib miljal tahes uuesti korduda. Saksamaa kogemus näitab, et energiataimede kääritamine ei tarvitse olla

kasumlik. Reaktorite suurenemisel suurenesid ka riskid ning omanikud jäid gaasiseadmete tootjatest täielikku sõltuvusse.

Ainult oma talust pärit energiataimede kääritamine osutus eriti riskantseks 2005. aastal, kui 47% selliseid biogaasijaamu töötas kahjumiga. Omast talust ja mujalt pärinevaid jäätmeid kääritavatest biogaasijaamadest jäi kahjumisse 29%. Energiataimi kasutavate biogaasijaamade kapitalitootlus on vaid 1,77%, mis moodustab umbes poole muude jaamade kapitalitootlusest (3,08%).

Tulemused näitavad seda, et vigadest tasub õppida. Nii näiteks vajab hoolikat analüüsi dotatsioonide mõju biogaasijaamade tehnoloogilisele arengule ja tasuvusele. Juba praegu võib tõdeda, et Kesk-Euroopa biogaasibuum mõjus soodsalt kääritamistehnoloogia arengule. Teisalt aga kahjustas Saksamaa taastuvenergia seaduse täiendus arengut, soodustades näiteks maisikasvatust anaeroobse kääritamise toormeks. Praegused analüüsitulemused viitavad sellele, et ilma väravamaksuta töötav biogaasijaam pole Saksamaal enam kasumlik.

Ka Soomes ei anna põllumajanduslik biogaasi tootmine kasumit. 2008. aastal avaldatud Motiva Oy aruande "Biogaasijaamade energeetiline bilanss biomassi kasutavates jaamades" kohaselt "... suudeti vastavas uuringus vaid ühe jaama energeetilist bilanssi ligikaudselt hinnata. Protsessi käigushoidmiseks vajaliku elektri- ja soojusenergia kulu suhe toodetud gaasis sisalduvasse energiasse oli selles biogaasijaamas veidi alla 0,4. Kui energiakulu võrrelda toodetud elektrienergiaga, osutus näitaja ühest suuremaks, ehk protsessis kasutati enam energiat kui selle abil õnnetus toota. Antud järeldust aga ei tohiks üldistada, sest biogaasijaama põhiülesanne ei tarvitse olla energia tootmine, vaid jäätmete käitlus, kus suurimat osa tegevuskuludest kaetakse jäätmete vastuvõtumaksudega. Sel juhul pole energiamüügist saadav tulu biogaasijaama tasuvuse seisukohast kuigi oluline ning neis oludes pole

ka energiatootluse optimeerimine esmatähtis. Olukord võib aga tulevikus muutuda, kui näiteks müüdava elektri eest on võimalik saada paremat hinda”. ENPOS-projekti seiretaludes läbi viidud biogaasijaamade energia- ja toitainete bilansi arvutustes lähtuti **tabelis 3** esitatud biomassi gaasitootmise potsentsiaalidest ja toitainete sisaldustest.

Soomes on uuritud ka päideroo biogaasi potsentsiaali (Lehtomäki 2006). Teoreetiliselt on päideroost võimalik saada elektrit ligikaudu vaid neljandiku kütteväärtuse ulatuses (**joonis 3**). Praktikas on väljatulek veelgi väiksem.

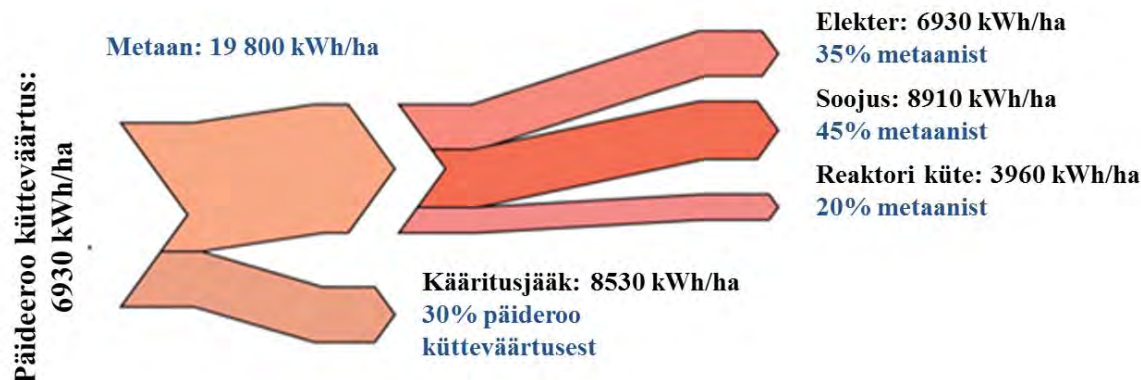
Seiretalul 1FIN

Seiretalul põhitegevuseks on sealiha tootmine. 2010. aastal saadi talus kõrvalsaadusena põhku ja sigade vedelsõnnikut. **Tabelis 4** on toodud nende energeetilised potentsiaalid. Praegu laotatakse vedelsõnnikut põllule, kuhu jäetakse koristamisel ka põhk. Mõlemat saaks aga kasutada biogaasijaamas elektri tootmiseks (**tabel 5**). Üksnes soojuse tootmine poleks mõttekas, sest talus on soojusenergia allikaks oma metsast pärit hakkpuit.

Talul tarbib umbes 90 000 kWh elektrit, millest 80 000 kWh oleks teoreetiliselt võimalik

Tabel 3. Erinevat tüüpi biomassi biogaasipotentsiaal ja toitainete sisaldused (KA=kuivaine, TM= toormass; allikas: KTBL 2007)

Biomass	KA%	Biogaasi kütteväärtus kWh/t (TM)	Elekter kWh/t (TM)	N kg/t (TM)	P ₂ O ₅ kg/t KA(TM)	K ₂ O kg/t (TM)
Kanasõnnik	45	1094	383	18,4	14,3	13,5
Hobusesõnnik	28	346	121	-	-	-
Veiste vedelsõnnik koos söödajääkidega	8	130	45	3,5	1,7	6,3
Veiste vedelsõnnik	8	98	35	3,3	1,6	5,9
Sigade vedelsõnnik	6	115	40	3,6	2,5	2,4
Muljutud vili	87	2911	1 106	12,5	7,2	5,7
Vili koos vartega	35	867	311	4,4	2,8	6,9
Heinamaa rohi	18	529	185	3,3	1,4	6,1
Silo	35	929	325	4,0	2,2	8,9
Peenestatud kartul	22	783	274	2,5	1,3	5,8
Nisupõhk	86	1488	522	3,7	1,6	10,3



Joonis 3. Päideeroo kasutamine biogaasi tootmisprotsessis

Tabel 4. Seiretalu 1FIN kõrvalsaaduste hinnangulised energeetilised potentsiaalid (TM = toormass, LHV = kütteväärtus, KA = kuivainesisaldus)

Biomass	Kogus t (TM)	KA %	LHV kWh/kg (TM)	kWh aastas
Nisupõhk	40	86	4,7	158 056
Kaerapõhk	27	86	4,7	111 667
Hernepõhk	67	86	4,7	274 167
Sigade vedelsõnnik	2 000	6	4,2	500 000
Kokku	-	-	-	1 043 889

Tabel 5. Seiretalu 1FIN teoreetiline biogaasi ja elektritootmise potentsiaal

Biomass	Kogus t (TM)	Biogaas m ³	Metaan %	Metaan m ³	Soojus kWh	Elekter kWh
Nisupõhk	40	11 710	51	5 972	59 537	20 880
Kaerapõhk	28	8 051	51	4 106	40 932	14 355
Hernepõhk	68	19 760	51	10 078	100 469	35 235
Sigade vedelsõnnik	2 000	38 400	60	23 040	229 696	80 000
Kokku	-	77 920	-	-	430 634	150 470

asendada ainuüksi sigade vedelsõnnikust toodetava biogaasielektriga. Kõige odavamaks lahenduseks oleks olemasolevad vedelsõnniku hoidlad termiliselt isoleerida, paigaldada neile kate ning hakkpuidul töötav katel varustada gaasipõletiga. Lisaks tuleks soetada 36 kW gaasimootor ja 10 kW elektrigeneraator.

Tasuvusarvutuses võiks lähtuda sellest, et niisugune soojuse ja elektri koostootmise agregaat (CHP) maksab 21 000 €, vedelsõnniku hoidlate kilekate ja gaasist väävli eraldamise seade maksavad 20 000 €. Kui CHP töötab aastas 8500 tundi, selle kasutusiga on 60 000 tundi ja reaktori ehitusmaterjalid amortiseeruvad 20 aastaga, moodustaksid biogaasijaama jooksvad-, remondi- ja hooldekulud toodetava energia maksumuses 1,5 s/kWh ning toodetav elekter maksaks 7,1 s/kWh.

Elektri hind suureneks aga märgatavalt, kui olemasolevaid sõnnikuhoidlaid ei õnnestu ümber ehitada ja selle asemel tuleks soetada spetsiaalne reaktor. Suuremate biogaasijaamade investeerin-

gukulud ulatuvad umbes 1000 – 3000 €/kWh.

Ülaltoodud arvutuskäik kehtib juhul, kui jaama elektritoodang ja talu elektrivajadus on võrdsed. Kuna selline olukord on vaevalt tõenäone, peaks ülejääva elektri müügist saadav hind olema sama suur kui ostetava elektri hind. Vedelsõnniku süsteemilt võiks üle minna tahkele sõnnikule, mis võimaldaks kasutada allapanuks põhku ja seega ka põhust biogaasi toota. Niisuguse võimaluse realiseerimine eeldab uue sigala ehitamist, millega aga kaasneb tööjõuvajaduse suurenemine. Saadav kasu põhu kasutamisest allapanuna, seisneb loomade heaolu parandamises ning biogaasi toodangu suurenemises 87% võrra.

Alternatiiviks oleks puugaasil töötava CHP soetamine, mis asendaks vana hakkpuidul töötavat katlamaja. Puugaasi saamine põhineb pürolüüsil, mille käigus osa puidust gaasistub kõrge temperatuuri toimel hapnikuvaeses keskkonnas. Eralduv puugaas on pärast puhastamist kasutatav näiteks sise põlemismootorites. Parimaks võimaluseks on aga puugaasi kasutamine elektri ja

soojuse koostootmise jaamas (CHP). Puugaas sisaldab rohkesti vesinikku ja vingugaasi (süsinikmonooksiidi) ning nende põlemine on peaaegu jäätmevaba.

100 kW-ne CHP puugaasijaam kasutab küttena hakkpuitu ja arvutuslikult toodab aastas umbes 263 000 kWh elektrit ning 613 000 kWh soojust, millega talu suudaks katta elektri- ning soojusenergia vajaduse. Talvel oleks selle maksimaalne päevane elektri- ja soojatootlus vastavalt 700 kWh ja 1700 kWh. Kuna talvine energiavajadus on sellest suurem, siis tasuks talvise lisaenergia vajaduse rahuldamiseks paigaldada ka kerge kütteõliga töötav katel, mis on odavam variant kui maksimaalset võimsustarvet tagav puugaasiseade üksinda.

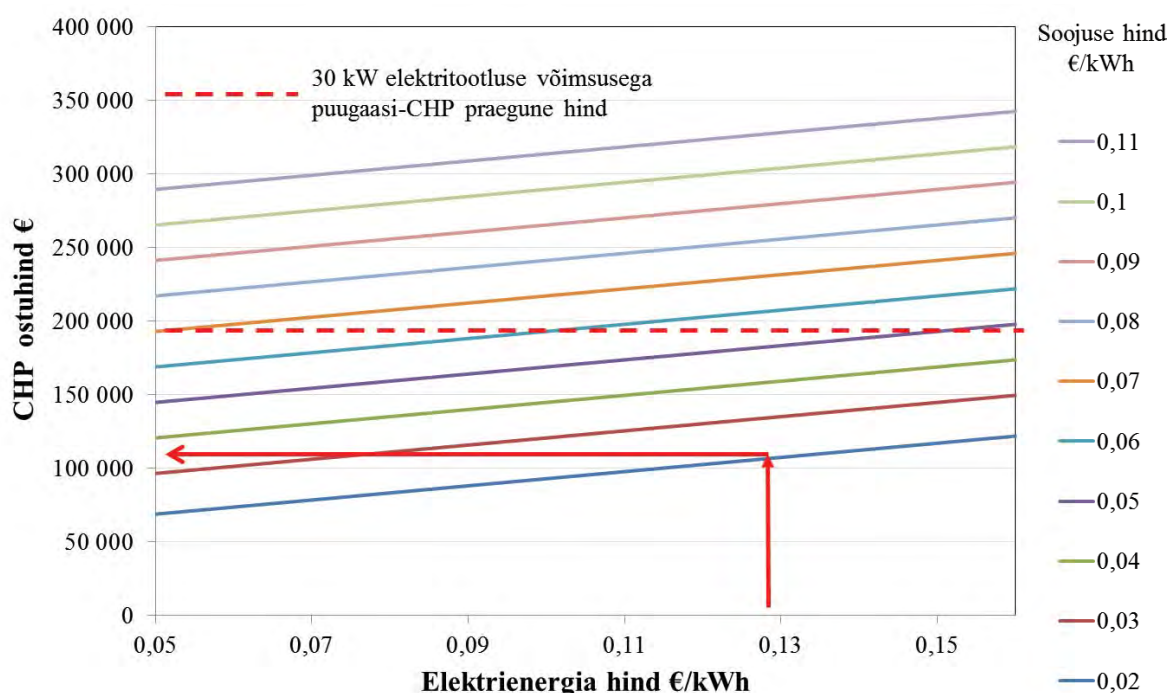
Joonisel 4 on esitatud 100 kW-se puugaasil töötava CHP-jaama tasuvuse marginaalid sõltuvalt elektri- ja soojusenergia hinnast. Antud arvutustes on lähtutud järgmistest andmetest: tasuvusaeg – 7 aastat, intress – 5% poolest soetushinnast, remondi- ja hoolduskulu – 10% soetushinnast, ekpluatatsioonikulu – 10% energia

maksumusest. Praeguste soome energiahindade juures (12,7 s/kWh elektri eest ja 1,852 s/kWh soojuste eest), oleks maksimaalseks soetushinnaks, mille korral jaam end veel ära tasub, 106 000 €. See moodustab tegelikult umbes poole CHP-jaama praegusest müügihinnast. Joonisel esitatud arvutuslikud hinnad kehtivad vaid juhul, kui elektrit ja soojust toodetakse sama palju kui tarbitakse. Kuna niisugust olukorda tegelikkuses vaevalt ette tuleb, peavad oma tarbest üle jääva elektri ja soojuste müügihinnad olema vähemalt sama suured kui nende ostuhinnadki.

Seiretal 2FIN

See talu on spetsialiseerunud piima tootmisele. Aastal 2010 saadi talus kõrvalsaadustena põhku ja lehmade vedelsõnnikut. **Tabelis 6** on toodud nende energeetilised potentsiaalid.

Praegu kasutab talu tekkivat vedelsõnnikut ja orgaanilisi jäätmeid uurimuslikuks otstarbeks. Biogaasireaktori mahtuvus on 300 m³ ning sellega on võimalik kääritada 274 tonni orgaaniliste jäätmete kuivainet aastas. Biogaasi kasutatakse



Joonis 4. Puugaasil töötava CHP-jaama tasuvus sõltuvalt elektri- ja soojusenergia hinnast

kas 50 kW-se gaasimootori kütusena, millega toodetakse 20 kW elektrit või (juhul kui gaasimootor ei tööta või gaasitoodang ületab mootori gaasitarvet) 80 kW gaasiküttega katlas.

Oletades, et gaasimootor töötab kogu aasta nimivõimsusega ning elektritootmise kasutegur on 35%, saadaks elektrienergiat 175 000 kWh aastas ning aastane metaanikulu oleks umbes 50 000 m³ ehk 500 000 kWh. Gaasikatel on võimaline tarbima aastas umbes 70 000 m³ metaani, mis vastab 700 000 kWh energiale.

Tabelist 7 nähtub, et biogaasijaam sobib hästi talu kõrvalsaadustest gaasi tootmiseks, arvestades antud biogaasijaama tootmispotentsiaali ja kõrvalsaaduste biomassi energeetilist potentsiaali. Seiretalu uus laut kasutas 2011. aastal 286 875 kWh elektrit ja 282 606 kWh soojust.

Elektrimüüja kodulehelt on võimalik saada teavet elektrikulu kohta tunniajalise täpsusega. See võimaldab määrata talu elektrikulu tipp- ja baaskoormustel ning neile tuginevalt hinnata seda, kas biogaasiga on võimalik sisseostetavat elektrit korvata.

Joonisel 5 on esitatud seiretalu 2011. aasta jaanuari, aprilli ja juuli elektrienergia kulu.

Biogaasil toimiv CHP-jaam on võimeline edukalt katma uue lauda põhilise elektrivõimsuse vajaduse, mis talvel on umbes 20 kW ja suvel 10 kW. Talvise tippkoormuse (üle 50 kW) ajal tuleb aga elektrit juurde osta. Talu igapäevane soojusenergia tarve pole küll teada, kuid suviti jääb CHP-jaamas toodetud soojust üle.

Kokkuvõttena võib tõdeda, et antud seiretalu biogaasijaam sobib hästi kõrvalsaaduste kasutamiseks energia tootmisel, kuid lauda energiavajadus ületab biogaasis sisalduvat energiat. Siiski saaks biogaasi kasutamisega korvata kuni 40% ostetavast elektrienergiast

Seiretalu 3FIN

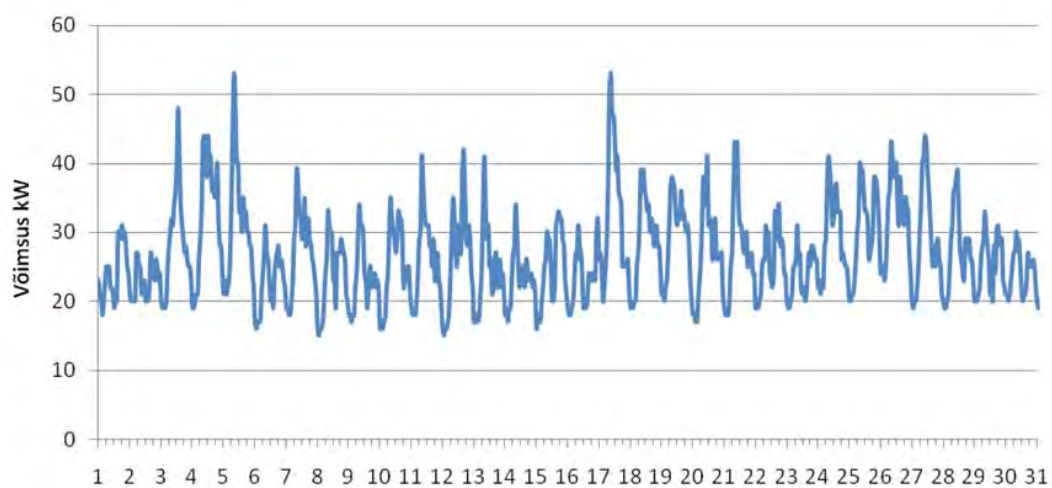
Antud seiretalu kasutab küttena maagaasi ja teoreetiliselt oleks võimalik puhastatud biomeetaani müüa maagaasi võrku. 2010. aastal saadi talus kõrvalsaadustena põhku ja lehmade kuiv-sõnnikut (**tabel 8**).

Tabel 6. Seiretalu 2FIN kõrvalsaaduste energeetilised potentsiaalid (LHV=kütteväärtus, TM=toormass, KA=kuivaine)

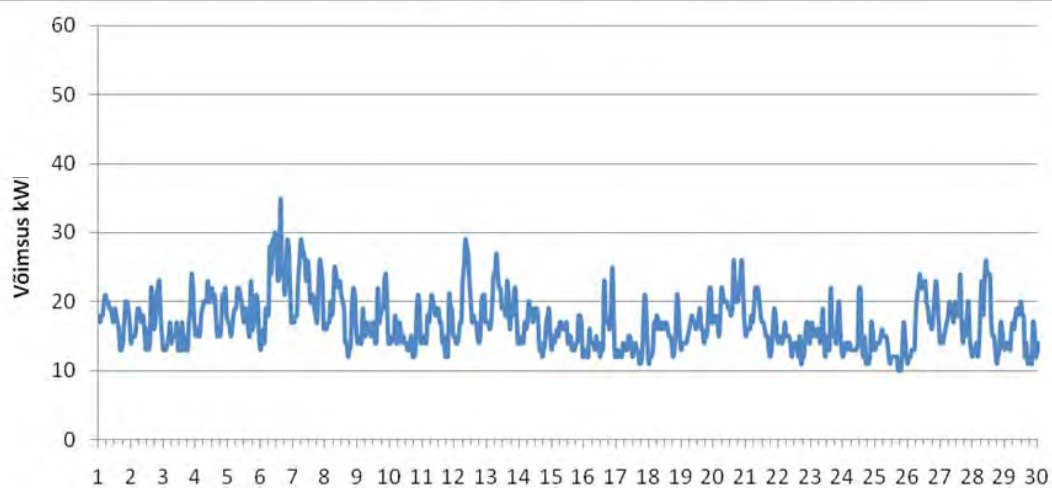
Biomass	Kogus t (TM)	KA %	LHV kWh/kg (KA)	kWh aastas
Odrapõhk	41	86	4,7	163 889
Kaerpõhk	29	86	4,7	117 778
Rüpsipõhk	3	91	4,4	11 389
Lehmade vedelsõnnik	2360	11	4,2	1 081 667
Kokku	-	-	-	1 374 723

Tabel 7. Seiretalu 2FIN arvutuslik biomassi, soojus- ja elektrienergia tootmispotentsiaal

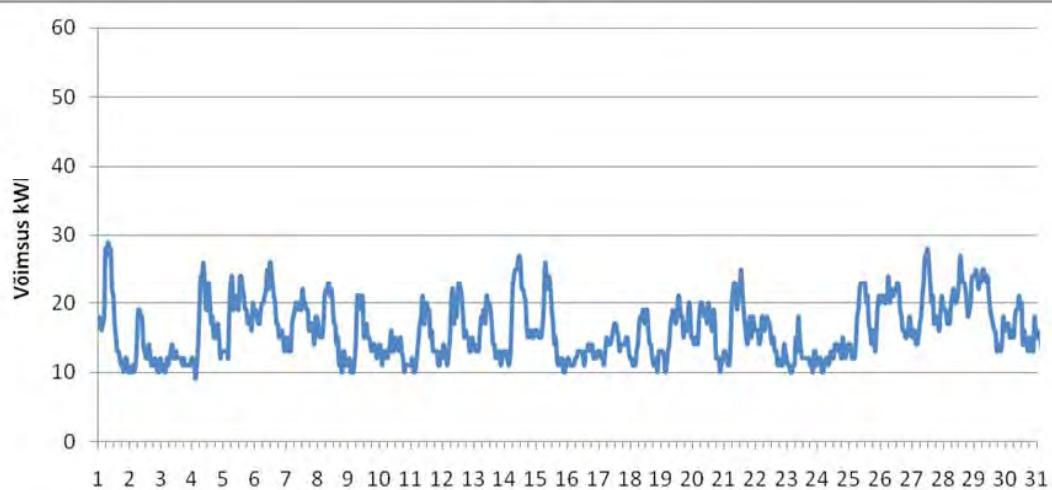
Biomass	Kogus t (TM)	Biogaas m ³	Metaan %	Metaan m ³	Soojus kWh	Elekter kWh
Odrapõhk	41	12 143	51	6 193	61 740	21 653
Kaerpõhk	29	8482	51	4 326	43 126	15 124
Rüpsipõhk	3	845	51	431	4300	1425
Lehmade vedelsõnnik	2360	76 842	55	42 263	421 337	94 400
Kokku	-	98 312	-	53 213	530 503	132 602



2011. a jaanuari kuupäevad



2011. a aprilli kuupäevad



2011. a juuli kuupäevad

Joonis 5. Seiretalu 2FIN 2011. aasta elektritarbimine jaanuaris, aprillis ja juulis (näit on registreeritud tunniste intervallidega)

Tabelis 9 on toodud andmed kõrvalsaaduste kääritamisel teoreetiliselt saadava enegria kohta. Ainuüksi biogaasis sisaldub ligikaudu 580 000 kWh soojusenergiat, mis moodustab 41% biomassi kütteväärtusest. Kui biogaasijaam tarbib ise ära 20% soojusest, jääb gaasivõrku müümiseks 464 000 kWh.

CHP teoreetiline soojusenergia netokogus oleks umbes 274 000 kWh. Talus tarbiti 2010. aastal ligikaudu 166 000 kWh elektrit,

seega kogu ostetava elektrienergia saaks korvata biogaasijaamast saadava elektriga.

Talu on ühendatud linna kaugküttevõrku, mistõttu biogaasi abil õnnestub korvata vaid kuivati kütteks kasutatavat maagaasi (2010. aastal tarbis kuivati seda ligikaudu 14 000 kWh).

Juhul kui traktorikütusena kasutada biogaasi metaani, saaks täiendavalt asendada veel ka 149 000 kWh fossiilset energiat.

Tabel 8. Seiretalu 3FIN kõrvalsaaduste hinnaguline energeetiline potentsiaal (TM=toormass, LHV=kütteväärtus, KA=kuivainesisaldus)

Biomass	Kogus t TM	KA %	LHV kWh/kg KA	kWh aastas
Nisuõled	49	86	4,7	193 611
Kaeraõled	107	86	4,7	434 722
Rüpsiõled	36	91	4,4	148 611
Sõnnik	524	28,2	4,2	622 500
Kokku	-	-	-	1 399 444

Tabel 9. Seiretalu 3FIN biogaasitootmise energeetiline potentsiaal

Biomass	Kogus t TM	Biogaas m ³	Metaan %	Metaan m ³	Soojus kWh	Elekter kWh
Nisuõled	49	14 352	51	7 320	72 973	25 592
Kaeraõled	107	31 307	51	15 966	159 177	55 824
Rüpsiõled	36	11 046	51	5 633	56 162	18 614
Sõnnik	524	53 192	55	29 256	291 662	90 121
Kokku	-	109 897	-	58 175	579 975	190 151

Biogaas:

- Taludes on võimalik tootmisel tekkivates jäätmetes sisalduvat energiat kasutada biogaasi tootmiseks.
- Biogaasi tootmine võimaldab omakorda tõhustada toitainete ringet, mille tulemusel vähenevad ostuväetiste kogused.
- Biogaasi tootmiseks kasutatavate seadmete maksumus on kõrge, mistõttu biogaasi kasumlikuks tootmiseks talus tuleb rakendada toetusmeetmeid.
- Toiduainejäätmete kasutamine ja nende loovutamisel saadavad väravamaksud muudavad gaasitootmise tasuvaks.
- Põllul kasvatatavast biomassist ei ole biogaasi tootmine osutunud majanduslikult kasumlikuks.

Tuuleenergia

Winfried Schäfer

Tuuleenergia tootmisel muudetakse õhu liikumisenergia tuuleturbiinide abil elektri- ja soojusenergiaks. Põllumajandustalude tuulegeneraatorite võimsused ulatuvad mõnekümnest sadade kilovattideni. Tuulejaamad tuleks paigaldada võimalikult tuulisele alale, näiteks rannikule, merre, avatud lagendikele, mägede nõlvadele või nende harjadele. Mõeldes tuuleenergia kasutamisele, tuleks tutvuda tuule tugevust hindavate mudelite ja tuulekaartidega (**joonis 6**)⁴.

Tuulejaama tiivik peaks paiknema võimalikult kõrgel, ulatudes selgelt üle ehitiste ja puulatvade, sest tuule kiirus on ülemistes õhukihtides suurem. Tiiviku keskpunk peaks soovituslikult paiknema vähemalt 80 m kõrgusel maapinnast. Tuulejaam hakkab elektrit tootma vähemalt 3 m/s puhuva tuule korral ning selle nimivõimsus saavutatakse 13 – 14 m/s juures. Olenevat tuulikust, võib lubatud tuule kiirus ulatuda 20 – 25 m/s.

Soomes on sama head tingimused tuuleener-

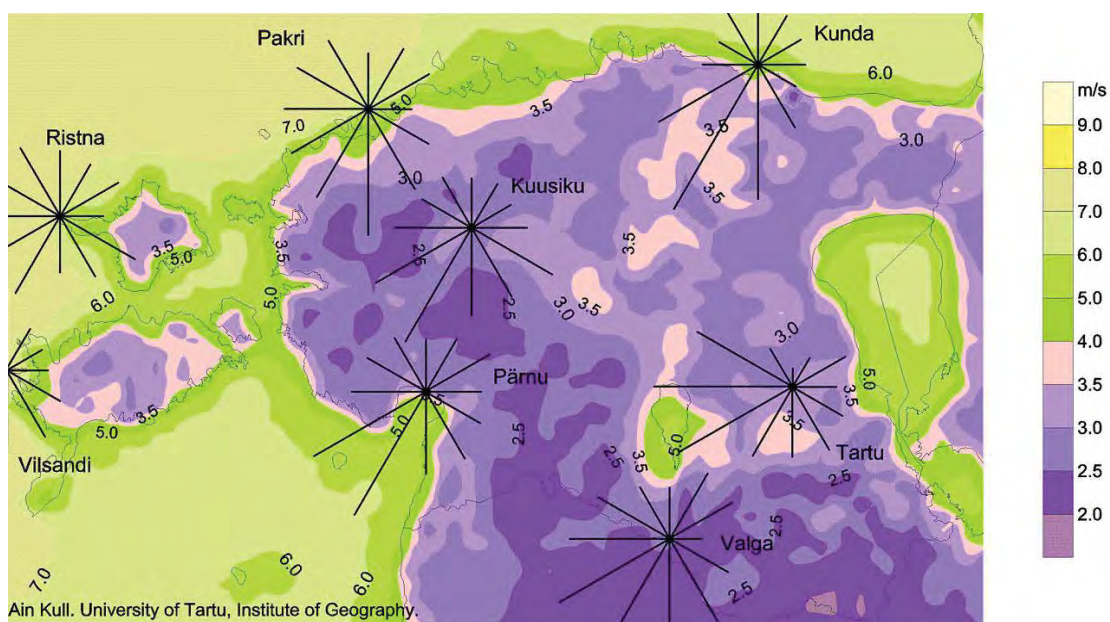
gia kasutamiseks kui Rootsis ning palju paremad kui Saksa sisemaal. 2011. aasta lõpuks oli Soomes 130 tuulejaama, koguvõimsusega 197 MW. 2012. aasta alguses otsustati käivitada täiendavate tuulejaamade rajamine 7800 MW ulatuses⁵. 2011. aasta lõpu seisuga oli Eestis töös 85 elektritulikut koguvõimsusega 184 MW (2011. aastal tootsid tuulikud 365 GWh energiat, mis on umbes 5% kogu elektritarbimisest).

2020. aastaks on Soomes eesmärgiks jõuda tuuleenergia kasutamisel 2500 MW võimsuseni. Et tagada taastvenergia arenduseesmärgid 2020. aastaks on Eesti planeeritav tuuleparkide koguvõimsus selleks ajaks kasvanud 650 MW-ni, millest maismaa tuuleenergia on 400 MW.⁶ Ehitustööde kiirendamiseks Soomes makstakse esimese kolme eksploatatsiooniaasta jooksul tuuleelektri eest 105,3 €/MWh. Kõigile uutele üle

5 <http://www.uusimaaseutu.fi/ep/tiedostot/Tuulivoimaretki.pdf>

6 Eesti taastuvenergia tegevuskava aastani 2020. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium. https://valitsus.ee/UserFiles/valitsus/et/valitsus/arengukavad/majandus-ja-kommunikatsiooniministeerium/Eesti_taastuvenergia_tegevuskava_aastani_2020.pdf

4 <http://www.tuuleenergia.ee/about/statistika/tuuleatlas>
Kull, A. Tuuleatlas. Magistritöö. Tartu Ülikool, 1996



Joonis 6. Väljavõte Eesti tuuleatlasest (www.tuuleenergia.ee/about/statistika/tuuleatlas)

megavatise võimsusega tuulejaamadele garanteeritakse 12 aasta jooksul elektri müügihinnaks 83,5 €/MWh⁷. Eestis hetkel kehtiva elektrituruseaduse kohaselt makstakse 53,7 €/MWh elektrienergia eest, kui see on toodetud taastuvast energiaallikast, välja arvatud biomassist. Põhjalikke andmeid tuulejaamadest ja tuuleenergiat tootvatest ettevõtetest saab Soome tuulejaamade ühenduse kodulehelt: <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/jasenet> ja Eesti tuuleenergia Assotsiatsiooni kodulehelt (<http://www.tuuleenergia.ee/>).

Joonisel 7 on esitatud hinnang tuuleenergia tasuvuse kohta seiretalus, sõltuvalt keskmisest tuule kiirusest ja elektrihinnast. Seejuures on eeldatud, et tuulejaama nimivõimsuseks on 2000 kW, elektrimüügi garanteeritud hinnaks kolme aasta jooksul on 10,53 s/kWh, üheksa aasta garanteeritud hinnaks on 8,35 s/kWh ning talu suudab tuuleenergia arvelt kokku hoida 200 000 kWh aastas.

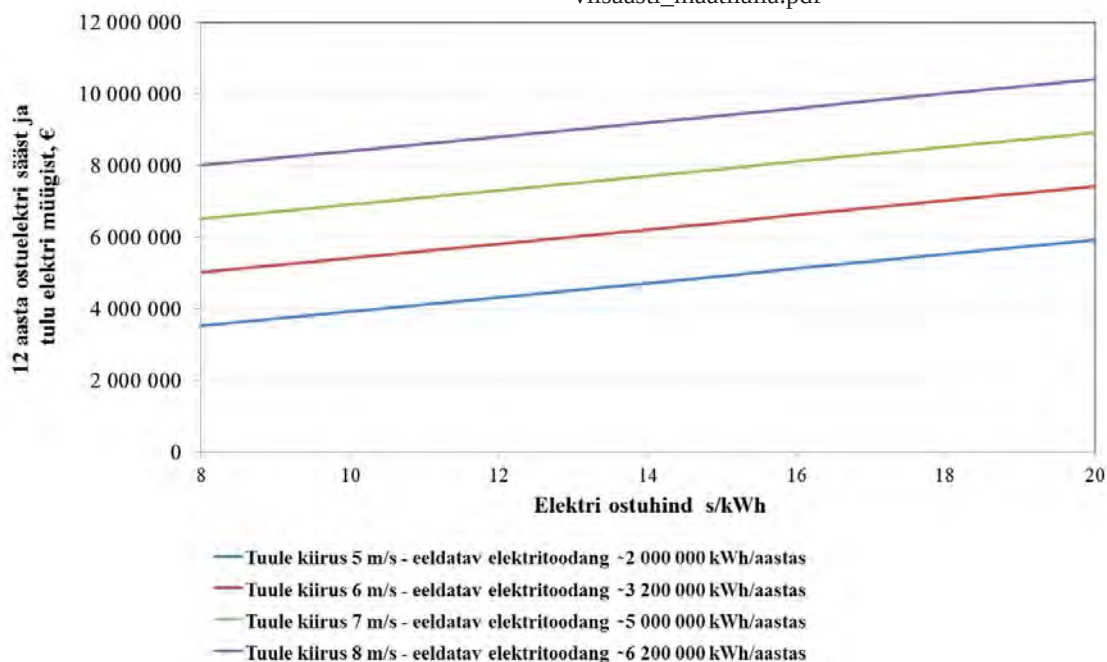
Tuulises piirkonnas on tuuleenergia tootmine talule igati sobilik ja majanduslikult kasumlik taastuueenergia allikas.

Paar näidet tuulejaamade kasutamisest Soome põllumajanduses:

- Lännen Lintu OY on 13 talu ühisettevõtte, millel on kaks 80 m kõrgust 1,8 MW tuulikut Huittinenis. Tuulikud võeti kasutusse 2012. aasta märtsis.
- Oittinenis asuvas Jussi Oittinenile kuulavas broilerilindlas oli eesmärgiks loobuda fossiilsete kütuste kasutamisest ning seetõttu investeeriti tuuleenergia rakendusse. Hollandist osteti kasutatud tuulejaam, millega alustati elektritootmist 2005. aastal. Nüüdseks toodetakse 250 000 kWh elektrit aastas, nii oma lindla otstarbeks kui riigi elektrivõrku. Lindlas on ruumi 140 000 broilerile. Aastas kulub lindude kasvatamisele 1 500 000 kWh soojust, 250 000 kWh elektrit ja 10 000 – 12 000 liitrit kütust masinate käigushoidmiseks. Talumaadel ei tehtud projekteerimise käigus tuulemõõtmisi, sest need oleksid 130 000 € suuruse investeeringu taustal osutunud liiga kalliks⁸.

⁷ <http://www.vitalonpower.fi/tuulivoiman/etuja.html>

⁸ http://www.uusimaaseutu.fi/ep/tiedostot/Energiaa_viisaasti_maatilalla.pdf



Joonis 7. Ostuelektri säästmisest ja omatoodetud elektri müügist saadav tulu, sõltuvalt tuule keskmisest kiirusest ja elektri ostuhinnast (tuulejaama nimivõimsus on 2000 kW, elektrimüügi kolmeaastane garanteeritud hind 10,53 s/kWh, üheksa-aastane garanteeritud hind 8,35 s/kWh ja ostuelektri kokkuhoid 200 000 kWh aastas)

- **Tuuleenergia:**

- Tuul on taastuvenergia allikas, mille kasutamine ei vähenda toidutootmiseks vajalikku pindala.
- Toetuste korral võib põllumajandustalus tuuleenergia tootmine osutada kasumlikuks.
- Soovitused tuuleenergia kasutuselevõtuks:
 - selgita tuuleatlase abil välja, kas tuuliku planeeritav asukoht on sobiv,
 - soorita tiiviku keskpunkti kõrgusel vähemalt ühe aasta jooksul tuule kiiruse ja selle ajalisi muutusi kajastavaid mõõtmisi,
 - arvuta koos erialaspetsialistiga mõõtmistulemuste põhjal eeldatav elektritoodang,
 - hinda investeeringu tasuvust,
 - juhul kui investeeringu tasuvusaeg on rahuldava pikkusega, planeeri edasised tegevused,
 - kui tasuvusaeg osutub ebarahuldavaks, siis tutvu muude taastuvenergia allikate kasutusvõimalustega,
 - selgita välja keskkonda mõjutavad tegurid ja naabrite ning ametnikega kooskõlastust vajavad dokumendid,
 - Sõlmi ostu-, hooldus- ja kindlustuslepingud.

Päikeseenergia

Winfried Schäfer

Kõik kütused, kaasa arvatud fossiilsed, pärinevad päikeseenergiast. Biomassi tootmisel muundatakse päikeseenergia fotosünteesi abil orgaaniliseks aineks. Fotosünteesi kasutegur on kaunis madal (keskmiselt 1 – 2 %, Soomes isegi alla ühe protsendi). Lõuna-Soomes on päikese-kiirguse intensiivsus 1000 kWh/m² aastas, millest saagi biomassi seotakse 1 – 10 kWh/m². Märkatavalt tõhusam on päikeseenergia otsene muundamine soojuseks päikesekollektorite või elektriks päikesepaneelide abil.

Päikese energiat oleks Soomes võimalik praegusest märgatavalt enam kasutada nii soojuse kui elektri tootmiseks. Nagu mainitud, langeb Lõuna-Soomes igale ruutmeetrile aasta jooksul 1000 kWh päikesekiirgust. Ainult kesktalvel (jaanuaris-veebruaries), siis kui päike on madalal või allpool horisonti, päikeseenergiat maasse ei salvestu. Eestis langeb talvekuudel päikesepaneelide

lide tootlikkus oluliselt. Päikesepaneelid toodavad suurema osa (90%) kogu aastast energiakogusest märtsist kuni oktoobrini.

Soome parlamendi tulevikukomisjoni jätkusuutliku arengu töörühm on välja pakkunud idee, et hajutatud väiketootmise edendamiseks võiks kasutada järgmist⁹:

- seadusandluse ja regulatsioonidega tagatakse hajusate väikeettevõtete poolt toodetavale elektrile müügivõimalus elektrivõrku;
- müüdava elektrivõimsuse alampiiri vähendatakse 50 või isegi 10 kW-ni;
- väiketarbijate jaoks võetakse kasutusele netoarvelduse mudel, mis innustaks piisaval hulgal tarbijaid ja nende ühendusi suurendama tootmistevõimet taastuvenergia osakaalu ning soodustama tootmise optimeerimist.

⁹ <http://web.eduskunta.fi/Resource.phx/pubman/templates/18.htm?id=4966>

Netoarvelduse (ka netomõõtmise ja nn netonduse) all mõistetakse arveldussüsteemi, mille kohaselt klient maksab arveldustes vaid elektri netokulu eest: elektritarbimisest lahutatakse maha võrku toodetud elekter. Seega sisaldab netoarvelduse mõiste õigust omatoodetud elektrit võrku sisestada ja selle eest hüvitust saada.

Põllumajanduslikus energiakasutuses saab rakendada nii passiivseid kui aktiivseid meetodeid. Passiivse päikesevalguse ja -soojuse kasutamise korral pole selleks vaja spetsiaalseid seadmeid. Nii näiteks toimib pea iga ehitise passiivse päikeseenergia salvestina, mis päeval päikese käes soojeneb ja öösel loovutab salvestunud soojust. Kuivatite õhuvõtukanalite sisestusotsikud võiks paigaldada ehitise päikeselisele küljele ja nende ette valmistada tunnelid, mis koguvad päikese soojust. See võimaldab muuta kuivati efektiivsemaks. Lautadesse saab värsket õhku sisestada pööningult, kus seda soojendab katus.

Aktiivsel energiakasutusel muundatakse päikese kiirgus päikesepaneelide abil elektriks või päikese kollektoritega soojuseks (**joonis 8**).

Vee ja õhu soojendamiseks kasutatavad päikese kollektorid töötavad üpris lihtsal põhimõttel – päike soojendab nendes olevat vett või õhku. Soojust saab seejuures akumuloida küttesüsteemide akumulaatoritesse. Päikese kiirguse intensiivsusel 1000 kWh/m² aastas, õnnestub ruutmeetri kollektoriga aasta jooksul salvestada 600 – 700 kWh soojusenergiat. Sellest umbes 450 kWh on võimalik kasutada sooja vee tootmiseks.

Õhku soojendavate päikese kollektoritega saab kütta ruume ja soojavee akumulaatorit. Lisaks sellele on võimalik ka õhk-õhk tüüpi soojuspumba kasutegurit parandada, kui eelnevalt tõstetakse selle sisestusõhu temperatuuri päikese kollektori abil. **Joonisel 9**¹⁰ on näide Vantaal asuvast pereelamusest, kus päikese kollektoris soo-

jendatavat õhku rakendatakse nii ruumide kütteks kui vee soojendamiseks. Õhksoojuspumba kasutegurit suurendatakse sellega, et ventilatsiooni soojusvahetist väljuv õhk suunatakse ümbritsevasse keskkonda soojuspumba kogumispoole (aurusti) soojusvaheti kaudu.

Päikeseelekter

Päikeseelektrit toodetakse päikese paneelide abil. Need paneelid koosnevad fotoelementidest, millistele langev valguskiirgus tekitab elektromotoorse jõu. Fotoelementid on valmistatud sageli kristalsest, polükristalsest või amorfsest räni ning kujutavad endast elektroonset pooljuhti. Päikese kiirguse toimel tekib elemendi pindmise ja alumise kihi vahele pinge ning ühendades vastava arvu elemente järjestikku, saadakse fotoelementidest koostatud patareist vajaliku suurusega elektripinge.

Päikeseelektri süsteemi saab paigaldada hoonetele, kus nende abil toodetakse osa hoonetes tarbitavast energiast. Põllumajandushoonetel on selleks sobilikku katusepinda rohkesti. Päikeselektrit tootvad süsteemid ühendatakse sageli elektrivõrguga, kuhu sisestatakse siis ka oma tarbimisest ülejääv elektri osa. Süsteemi paigaldamiseks ja võrguga ühendamiseks tuleb elektriettevõttega eelnevalt sõlmida vastav leping ning kindlustada elektriohutus. Päikese paneeli poolt toodetava elektri kogus on võrdeline päikese kiirguse intensiivsusega. Pilvise ilmaga on päikese kiirgus märgatavalt nõrgem kui ereda päikese paiste korral ¹¹.

Päikese paneel on fotosünteesist märgatavalt efektiivsem ja selle abil on saavutatav isegi 30 %-ne kasutegur. **Joonisel 10** on toodud päikeseenergia tootmispotentsiaal Helsingis¹².

Päikeseelektri kasutamine sobib hetkel pare-

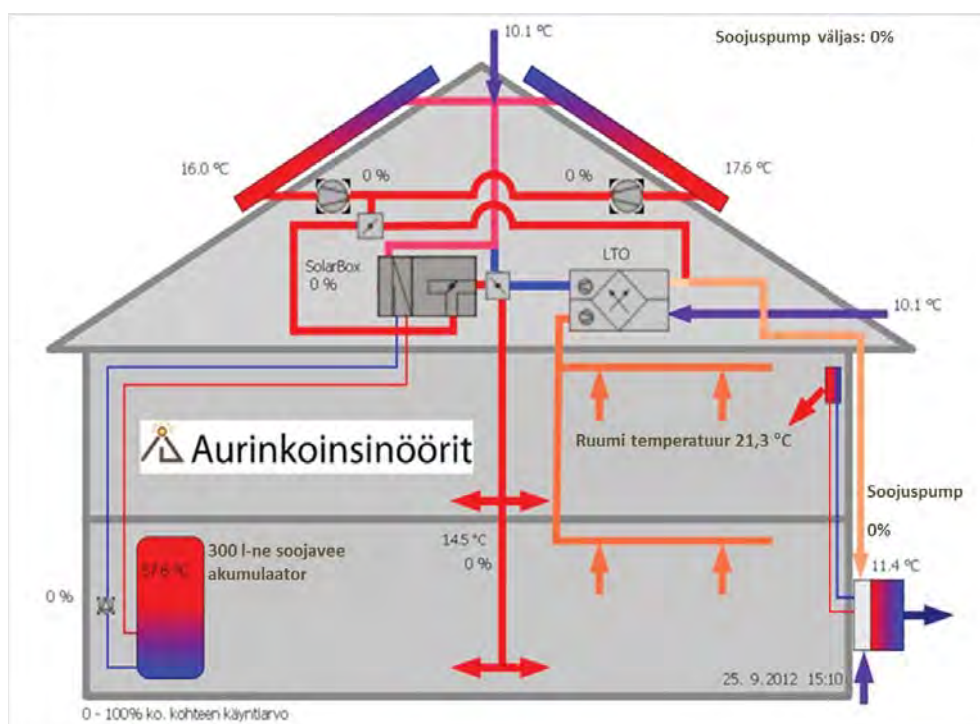
¹¹ http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko

¹² Motiva http://www.motiva.fi/julkaisut/uusiutuva_energia/auringosta_lampoa_ja_sahkoa.1027.shtml

¹⁰ <http://vanta.aurinkoinsinorit.fi/dl2/live/data.svg>



Joonis 8. Pereelamu päikesepaneelid toodavad soojust ja elektrit (foto: Winfried Schäfer)



Joonis 9. Pereelamu päikesekollektoril põhineva õhkküttesüsteemi tööparameetrid seisuga 25.09.2012 (välis-temperatuur 10,1 °C, õhutemperatuur päikesekollektorites 17,6 ja 16 °C)

mini väikeste objektide (suvilate, rannamajade, kaatriite, autosuvilate, elektrikarjuste) elektriga varustamiseks. Päikeseelektrit saab toota vaid päeval ja selle tootmisvõimsus on suurim suvel. Sellepärast on otstarbekas tuule- ja päikeseelektri koostootmine. Talvel on tuulekiirus suurem, kuid päikesekiirgus nõrgem. Ühega tulevikuvõimalustest saab tutvuda Helsingi linna keskkonnamajas Viikkis, kus elektrit toodetakse nii tuuleenergia kui päikesepaneelide abil (**joonis 11**).

Viikki keskkonnamaja vertikaalrootoriga tuulejaamad on valmistatud Soomes. Tootja andmetel on vertikaalrootoriga tuulejaamad töökindlamad ja vaiksemad kui tiivikjaamad. Maja taastuenergia kasutamiseks vajalike süsteemide üldmaksumus oli ligikaudu 700 000 € ja investeeringu tasuvusajaks hinnatakse 14 aastat. Majas tarbitava elektrienergia kogus moodustab umbes kolmandiku sama suurusega tavalise büroohoone elektritarbest.

Elektri salvestamine

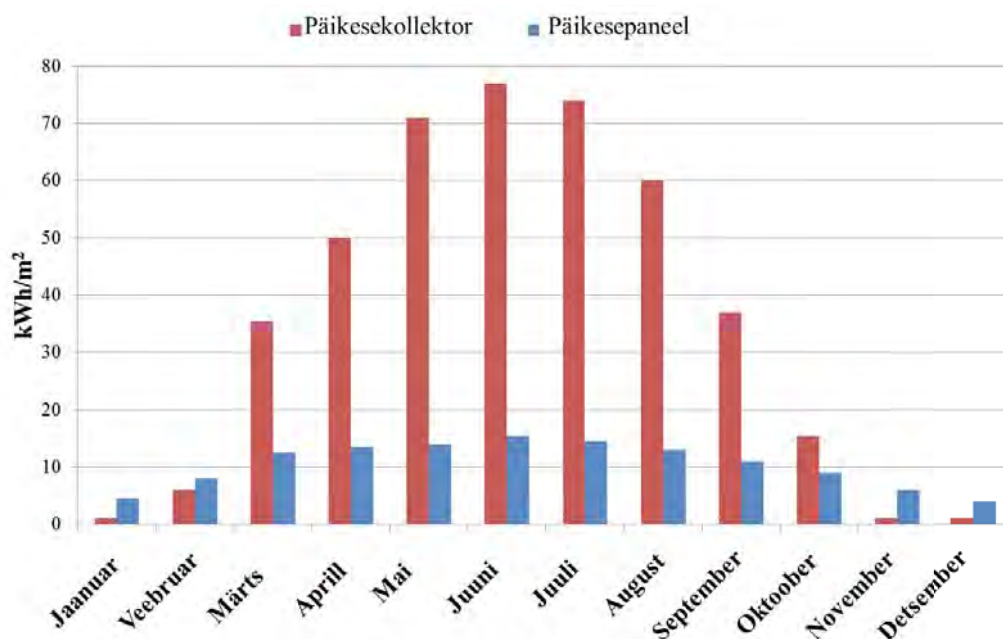
Päikesepaneeliga toodetud elektri võib salvestada akudesse, mille energiat saab tarbida öö-

sel ja pilvistel päevadel. Akude mahtuvus peaks sel juhul suutma katta mitme päeva tavatarbe. Päikesepaneeli saab kasutada ka ilma akuta, kui sellega toodetavat elektrienergiat õnnestub kohe-
selt kasutada näiteks hoone ventileerimise, vee pumpamise või kastmise süsteemides¹³.

Soovitusi päikeseenergia kasutuselevõtuks:

- selgita välja elektritarbe baaskoormus ja ööpäevane ning aastaringne dünaamika;
- arvuta baaskoormuse põhjal välja päikesepaneelide nõutav pindala, kasutades asjatundjate abi;
- selgita välja kasutatav pindala ja ehitise või aluse tugevusnäitajad;
- uuri elektrimüüjalt netoarvelduse võimalusi, tingimusi ja arveldusteks nõutavate seadmete maksumust;
- kontrolli vajaliku investeeringu tasuvust;
- kui investeeringu tasuvusaeg rahuldab, siis jätka kavatsuse realiseerimisega, muul juhul uuri teisi taastuenergia kasutusvõimalusi;
- sõlmi ostu-, hooldus- ja kindlustuslepingud.

¹³ http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko



Joonis 10. Päikeseenergial põhinevate seadmete tootlus: soojuskollektor toodab aastas ligikaudu 450 kWh/m² soojusenergiat (kasutegur ca 45 %) ja päikesepaneel ligikaudu 120 kWh/m² elektrit (kasutegur ca 12 %)



Joonis 11. Helsingi linna keskkonnamajas kasutatakse rohkesti päikesepaneele ja nelja soome päritolu vertikaalrootoriga tuuleelektrijaama (foto: Winfried Schäfer)

Päikeseenergia kasutamine:

- Passiivset päikeseenergiat saab kasutada loomakasvatushoonetesse ja kuivatitesse juhitava välisõhu soojendamiseks.
- Põllumajandushoonete katustele saab paigaldada päikeseenergia kollektoreid ja päikesepaneele. Senini on seda võimalust veel vähe rakendatud.

Maasoojus

Winfried Schäfer

Päike kiirgab suve jooksul rohkesti maasse, kivimitesse ja veekogudesse salvestuvat soojust. Talvel on päikese soojendav mõju põhjapoolsetel laiuskraadidel väike ning siis tasub suvel salvestunud päikeseenergia mingil moel ära kasutada. Arvutuste kohaselt piisab umbes kolmest protsendist maasse aasta jooksul salvestunud päi-

keseenergiast aastase soojavajaduse katmiseks. Maasoojus on soojatarbe aastaringse rahuldamise kindel ja pidevtoimeline allikas.

Maasoojuse kogumistorustikku saab maa pinnakihti ja veekogusse paigaldada horisontaalselt või sügavamatesse kihtidesse ka vertikaalselt. Horisontaalsel paigaldamisel kogutakse maasoo-

just mitmesaja meetri pikkuse 0,7 – 1,2 meetri sügavusele paigaldatud plastiktorustiku abil.

Ehitise iga kuupmeetri kütmiseks vajatakse umbes 1 – 2 meetrit kogumistoru ja ühe meetri kogumistoru paigaldamiseks peab olema kasutada umbes 1,5 m² maad. Andmed maast ammutava soojusenergia koguste kohta¹⁴ on toodud **tabelis 10**.

Järvede ja mereäärsete alade vesi on samuti sobilik soojusallikaks, kui selle sügavus ületab kahte meetrit. Soojuse kogumiseks saab kasutada

¹⁴ http://www.sulpu.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=114#maaper%C3%A4

samu vahendeid kui maasoojuse puhul, kuid kogumistorud tuleb fikseerida veekogu põhja umbes meetrite vahedega paigaldatavate 5 – 10 kg raskuste betoonist ankrutega. See on vajalik selleks, et talvel kogumistoru ümber moodustuv jää ei tõstaks toru veekogu katva jääkaane alla. Siis võib kevadine jääminek torustiku minema kanda. Samal põhjusel ei soovitata üldjuhul kogumistoru paigaldamist jõe põhja. Veekogust aastaga saadav võimsus jääb vahemikku 70 – 80 kWh ühe meetri torustiku kohta.

Soojuspumba abil on võimalik soojusenergiat ammutada ka puurkaevudest ja sügavamatest

Tabel 10. Orienteeruvad andmed maast saadava aastase soojasaagise kohta (kWh/m)

Asukoht	Savimaad	Liivamaad
Lõuna-Soome ¹	50 – 60	30 – 40
Kesk-Soome	40 – 45	15 – 20
Põhja-Soome ²	30 – 35	00 – 10

¹ Kokkola – Savonlinna joonest lõuna pool

² Välja arvatud Lapimaa

maakihtidest, kus temperatuur püsib aastaringelt konstantsena. Püstine kogumistoru lastakse sel juhul 60 – 150 m sügavusse 10 – 15 cm läbimõõduga puurauku.

Püstise toru korral on kogumisvõimsus jooksva meetri kohta suurem kui horisontaalses kogumissüsteemis. Vajaliku puuraugu saab krunti kahjustamata tänapäevaste vahenditega valmis ühe päeva jooksul. Püstise kogumistoru paigaldamine on kulukam, kuid selle eeliseks on jooksva torumeetri peaaegu kahekordselt suurem energeetiline tõhusus.

Tegelikult ei puurita ka suure võimsusega süsteemide jaoks 200 meetrist sügavamale, vaid

siis tehakse puurauke 10 – 20 meetriste vahedega mitu ning kogumissüsteemi torud ühendatakse omavahel rööpselt spetsiaalses ühenduskaevus, millega välditakse pumpamise ülemäära suurt kulu¹⁵.

Soojuspumpade kasutamine põllumajanduses on senini olnud tagasihoidlik. Seal saadakse kütteks vajalik soojus põhiliselt madala maksumusega puidu ja turba põletamisel. Soojuspumpasid on rakendatud sigalates sõnnikus oleva soojuse taaskasutamiseks. Sellega kaasneb ühtlasi ammoniaagi emissiooni vähenemine, sest jahtunud sõnnikust on gaaside lendumine õhku aeglasem.

¹⁵ <http://www.sulpu.fi> ja http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/lampopumput/

Soojuspump:

- Soojuspumpasid saab edukalt kasutada hoonete kütteks.
- Põllumajandustaludes on soojuspumpasid rakendatud peamiselt sigalates sõnnikus oleva soojuse taaskasutamiseks.

Vedelad biokütused põllumajandusettevõtte energiaallikana

Tapani Jokiniemi

Üldiselt

Eristatakse esimese ja teise põlvkonna biokütuseid. Esimesse põlvkonda kuuluvad üldiselt kütused, mille toore sobib ka toiduainete tootmiseks. Nendeks on "traditsioonilised" biokütused – kääritamisel tekkiv alkohol ning taimsetest või loomsetest rasvadest valmistatav biodiisel. Teise põlvkonna biokütuste valmistamiseks kõlbab ka suure lignotselluloosi sisaldusega puit, mis ei konkureeri toidutootmisega. Tuntuim teise põlvkonna biokütuste valmistamise meetod põhineb Fischer-Tropschi (FT) sünteesil, mille puhul vedelaid süsivesikuid saadakse süsinikku sisaldavast biomassist. Ka Soome kontserni Neste poolt välja töötatud NExBTL-diiselkütus kuulub teise põlvkonda, kuigi selle toormeks on rasv¹⁶.

Käesolevas peatükis käsitletakse ainult vedelaid biokütuseid. Biokütuste hulka kuuluvad veel orgaanilist päritolu tahked kütused, nagu puit, põhk ning gaasilised ained, sealhulgas biogaas (metaan) ja vingugaas. Vedelate biokütuste kaheldamatuteks eelisteks on suur energiasisaldus ja kasutamise lihtsus. Neist omadustest tulenevalt pole kütuse ladustamiseks vaja suuri mahuteid, sõidukite töötamisel puudub vajadus sagedaseks tankimiseks, kütuse transportimise, ladustamise ning doseerimise süsteemid on lihtsad.

Talus toodetavad biokütused

Väikeste ja keskmiste mahtude korral sobivad talutootmise jaoks paremini esimese põlvkonna biokütused. Teise põlvkonna biokütuste valmistamine (näiteks männiõlist¹⁷ tehtud biodiisel) on

keerukam ja seda on otstarbekam toota suurtes ettevõtetes kõrge tootlusega liinide abil.

Kaasaegset tehnoloogilist taset arvestades, on talutootmisel kõige tõsisemalt võetavateks alternatiivideks alkoholide, taimsete ja loomsete rasvade ning nendest metüül- või etüülestriite tootmine. Alkoholid sobivad otseselt või mõningal määral töödelduna ottomootorite kütuseks.

Põllumajanduses aga rakendatakse traktorites ja töömasinates peaaegu eranditult diiselmootoreid. Kuna alkoholidel on isesüttimise omadused kehvapoolsed, tuleb enne diiselmootorites kasutamist lisada neile süttimist soodustavaid aineid.

Talutootmiseks ja omakasutuseks sobivad olemasolevatest biokütustest kõige paremini rasvapõhised biokütused ehk biodiislid. Biodiisli all mõistetakse üldiselt taimsest või loomsest rasvast valmistatud rasvhapete metüülestreid (FAME, RME, REE jne), kuid selle alla kuuluvad ka teised taastuvast biomassist toodetud kütused.

Rapsiõli ja sellest metüülestri valmistamine

Põhjapoolsetes regioonides kasutatakse biodiisli valmistamisel toormena kõige enam rapsi- või rüpsiseemnetest pressitud õli. Eestis on levinud rapsi, soomes rüpsi kasvatamine. Ka muid rasvu saab esterifitseerimisel kasutada. Kui biodiisli valmistatakse näiteks kasutatud praadimisrasvast, mida toidu väärindusahelas käsitletakse jäätmena, muutub tootmisprotsess märgatavalt tasuvamaks. Euroopas on praadimisrasva kogumine biodiisli toormeks korraldatud Austrias. Vastavat tegevust on alustatud ka Soomes.

¹⁶ Neste Oil, uusiutuva NExBTL-diesel.
<http://www.nesteoil.fi/default.asp?pa>
[th=35,52,11990,11993,12252](http://www.nesteoil.fi/default.asp?pa)

¹⁷ Käesolevas tekstis mõistetakse männiõli all sulfaatselluloosi tootmise kõrvalsaadust, mis sisaldab

20-50% vaikhappeid ja 35-70% rasvhappeid. Männiõliks nimetatakse sageli ka männiokkaõli, mida eeterlike õlide sisalduse tõttu kasutatakse mitmesuguste kreemide, ravimiladsete ainete jms valmistamiseks

Õli pressimine rapsiseemnetest

Tööstuslikult eemaldatakse õli rapsiseemnetest pressimise, ekstraheerimise või nende meetodite kombineerimisega. Turustatakse mitmesuguse ehitusega õlipresse, mille võimsused ja tootlikkus erinevad suurtes piirides. Talutoomisel on otstarbekas kasutada õli eraldamiseks lihtsat ja suhteliselt odavat tigupressi (ekspellerit), mis maksab vaid mõni tuhat eurot. Rapsiseemne õlisisaldus on ligikaudu 39 – 44%, millest pressimisega õnnetub eraldada 70 – 75%. Rapsiseemne massist moodustab õlisaagis seega umbes 30%. Pressimise järgselt tuleb õli puhastada kas filtreerimise või setitamise teel.

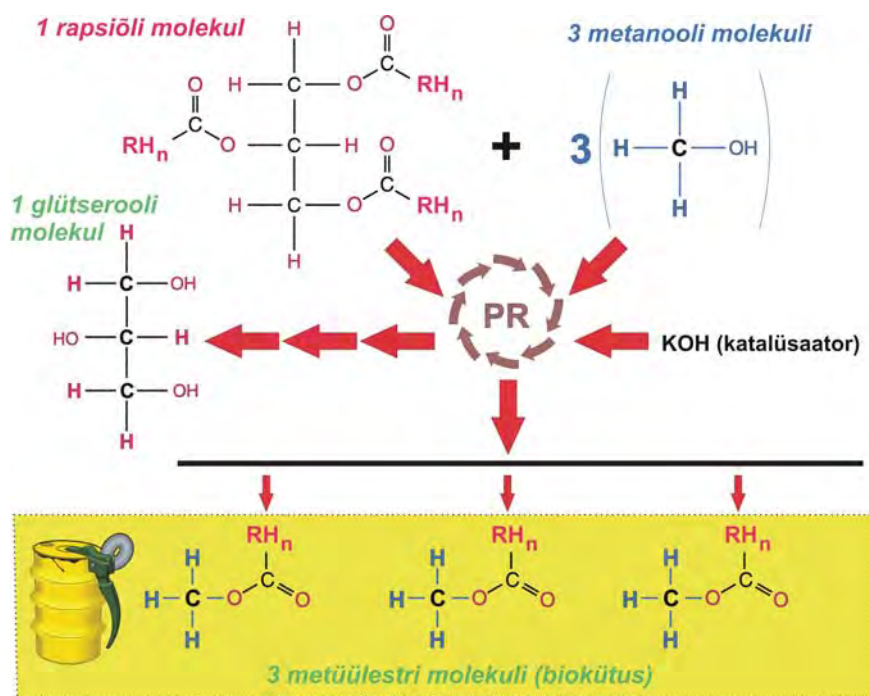
25 – 30% seemnetes sisalduvast õlist jääb pressimisjäätmetesse, millest tehtud õlikooki kasutatakse loomakasvatuses väärtusliku söödana. Kunagistest rapsisortidest saadud õlikoogi söötmisel tekitas loomadele probleeme õlis sisalduv eurukahape, kuid nüüdseks on sordiaretuse tulemusena sellest vabanetud. Teisest küljest aga laiendab just eurukahappe kõrgem sisaldus õlis

selle tehnilise kasutamise võimalusi. Kui pressimisjääki ei või söödana kasutada, siis kõlbab see kütteks, segatuna näiteks hakkpuidu või muu küttematerjaliga.

Biodiisli valmistamine

Taimsed õlid ja teised rasvad on keemiliselt koostiselt glütserooli ja kolme rasvhappe estrid. Biodiisli tootmisel asendatakse üks glütserooli molekul kolme metanooli või etanooli molekuliga, mille tulemusena rasvamolekul lõhustub ja muundatakse kolmeks erineva estri molekuliks. Sellega kaasneb õli viskoossuse vähenemine ligikaudu võrdseks diiselkütuse omaga ning paranevad ka muud kütuse omadused, nagu lenduvus ja külmataluvus. Protsessi lõpptoodeteks on siis rasvhapete metüül- või etüülestrid ning glütserool (**joonis 12**). Reaktsiooni kiirendamiseks kasutatakse katalüsaatorina näiteks kaalium- või naatriumhüdrosiidi (leelist).

Biodiisli valmistamine on suhteliselt lihtne protsess. Metanool (või etanool), katalüsaator ja rapsiõli (või muu rasv) segatakse reaktoris



Joonis 12. Rapsiõli ümberesterifitseerimine metanooliga (joonis: Väino Poikalainen)

omavahel kokku ligikaudu järmistes vahekorras: üks osa metanooli, viis osa õli ja 0,5 – 1% (kasutatavast õlikogusest) katalüsaatorit. Reaktoris olevaid aineid segatakse pidevalt. Reaktsioon on spontaanne ning tekkiv glütserool koguneb reaktori põhja.

Reaktsiooni kiirust saab suuurendada segu soojendamisega umbes 60 °C-ni (metanooli keemispunkti lähedale). Reaktori põhjas peab olema kraan, mille kaudu saab jääke väljustada. Hiljem tuleb segust eemaldada ka alkoholi ja glütserooli jäägid. Kuna mõlemad lahustuvad vees, siis saab neid välja pesta veega. Samuti võib neid eemaldada filtreerimisega. Väljapestava glütserooli vesilahusel lastakse koguneda reaktori põhja, misjärel see eraldatakse tekkinud biokütusest. Jääkmetanooli (-etanooli) on biokütusest võimalik eraldada ka destilleerimise või aurustamisega.

Ümberesterifitseerimiseks vajalikud seadmed võib valmistada omal käel, kuid see nõuab muidugi põhjalikumat süvenemist asja olemusse. Tööstuslikult toodetavate seadmete hind on umbes 10 000 €.

Biodiisli valmistamise kõrvalsaadusena tekkinud glütserool on väärtuslik tööstuslik toore, kuid selle müügilõplikkusest tagava puhastamisprotsessi tasuvus talutingimustes võib (eriti väikeste koguste puhul) osutuda küsitavaks. Glütserooli kütteväärtus (17 MJ/kg) on suhteliselt suur ning seda on lihtsam segada kütteks kasutatava hakkpuidu või muu küttematerjaliga.

Biodiisel mootorikütusena

Biodiislit saab kütusena kasutada kas puhtal kujul või segatult diiselmootoriga. Praeguseks on vähemasti Deutz Fahr ja John Deere traktorites (maaletoojate levitatava reklaami kohaselt) võimalik kütusena kasutada 100%-lt biodiislit. Isegi Valtra ja Massey Ferguson traktorite AGCO Power mootorite uuemad nn SCR-versioonid on võimelised töötama 7%-se biodiiseli seguga.

Mootorites, kus SCR-tehnikat ei kasutata, on lubatud 100%-ne biodiisli kasutus. Kõikidel eelmainitud juhtudel peab biodiisel vastama euroopa standardi EN-14214 kvaliteedinõuetele. Enne oma traktoris biodiisli kasutamisele üleminekut tasuks aga siiski küsida traktori tootja või maaletootja nõu.

Arvukate uuringute käigus on selgunud, et biodiisel käitub mootorites samuti nagu tavapärase diiselmootoriga. Biodiisli kütteväärtus (38,5 MJ/kg) on diiselmootoriga omast (42,5 MJ/kg) vaid veidi madalam, mida aga osaliselt kompenseerib selle suurem tihedus. Puhta biodiisli kasutamisel tuleb siiski leppida mootorivõimsuse teatud vähenemisega. Mitmed masinate tootjad soovivad biodiisli kasutamisel vahetada mootori õlifiltrit ja kütusefiltrit tavapärasest kaks korda sagedamini. Mootorile võidakse soovitada ka täiendava kütusefiltri paigaldamist. Biodiisel on söövitava toimega, mistõttu võib kahjustada pinnavärvi ning kütusesüsteemi plastmassist ja kummist osi. Lisaks sellele algab –13 °C juures biodiisli hangumise protsess, mistõttu see ei sobi talvekütuseks.

Palju on uuritud ka taimeõli kasutamist mootorikütusena. Selle eelisteks on väga lihtne tootmistehnoloogia ja madal maksumus. Probleeme aga põhjustavad eelkõige taimeõli suur viskoossus ja vähene lenduvus (aurustuvus). Suure viskoossuse tõttu ei jaotu mootorisse pihustatav taimeõli küllaldaselt peenteks piisakesteks. See asjaolu koos nõrga arustuvusega põhjustab kütuse mittetäielikku põlemist. Kõrge temperatuuri toimel põlemata jäänud rapsiõli polümeriseerub, tekitades kummilaadseid moodustisi põlemiskambris ja pihustite otsikutele (**joonis 13**).

Praktiliselt ükski kaasaja traktoritootja ei luba rapsiõli oma masinas kütusena kasutada. Juhul kui mõnedes vanemates mootorites seda siiski tahetakse proovida, tuleb seda teha eelkõige omaniku vastutusel. Väikestes kogustes (umbes 5 – 10%) rapsiõli lisamine diiselmootoriga ei to-



Joonis13. Rapsi- ja sinepiõlist põhjustatud moodustised Valmet 420 mootori väljalaskeklapi kaelal (vasakul) ja klapipesas (paremal)

hiks ilmselt mootorit kahjustada. Kui aga taimse õli osa soovitakse suurendada, tuleb rakendada niisugust kaksiksüsteemi, kus käivitamisel ja seiskamisel töötab mootor diiselkütusega, kuid suurte koormuste juures (kui mootor on kuum) taimse õliga. Lisaks peaks siis taimeõli viskoossuse alandamiseks rakendada eelsoojendust. See omakorda tekitab probleeme mehhaaniliste kõrgsurvepumpadega töötavates mootorites, sest temperatuuri kasvuga kaasneb möödavoolu suurenemine pumbast ja pihustusfaas hilineb.

Üldiselt peab taimeõli kasutamisse mootorikütusena suhtuma küllaltki kriitiliselt, sest ülalmainitud meetmetele vaatamata väheneb mootori tööiga. Taimseõliga töötavad mootorid olid siiski veel hiljuti saritootmises. 2007. aastal tutvustas Deutz-Fahr uut mootori modifikatsiooni, milles rakendati kahekütuselist süsteemi ja kütuse eelsoojendust. Kütuse valik toimus selles automaatselt, sõltuvalt koormusest ja mootori temperatuurist. Elektroonselt juhitud pneumaatiline sissepritsesüsteem võimaldas täpselt reguleerida pihustusrõhku ja -aega. Mootorile oli (ka taimeõli kasutamisel kütusena) kehtestatud normaalse pikkusega garantiiaeg. Vähesed nõudlused tõttu on nende rapsiõlimootorite tootmine praeguseks siiski lõpetatud.

Biodiisel kütteõlina

Kütteks kasutamisel on kütteainetele esitatavad nõuded energiasisalduse ja ladustamise suhtes märgatavalt leebemad kui mootorikütuste puhul. Seetõttu on kütisel mõistlik fossiilsete vedelkütuste asemel rakendada muid ja odavamaid võimalusi. Kütteenergia tootmiseks sobivad hästi mitmesugused taastuvad ressursid, nagu maasoojus, päikeseenergia, puidujäätmed ning kõigi nende omavahelised kombinatsioonid.

Erandiks on teravilja kuivatamine, kus vajatakse suhteliselt suurt võimsust lühikese aja jooksul ning näiteks tahke kütuse juurutamiseks vajalikud investeeringud võivad osutuda ülemäära suureks. Biodiisli saab aga kuivatiahjus põletada samuti nagu tavalist kerge kütteõli. Arvestada tuleks siiski sellega, et biodiisli kvaliteet halveneb pikaajalisel säilitamisel, mis sessoonse iseloomuga kuivatikasutusel võib tekitada probleeme.

Rapsiõli saab viljakuivati kütteks kasutada nii naturaalsel kujul kui segatult kerge kütteõliga. Puhta rapsiõli puhul tuleb tavapõleti välja vahetada kombineeritud põletiga. Viimastes rakendatakse üldjuhul eelsoojendust, mida on tingimata vaja õli viskoossuse alandamiseks ning

selle küllaldase pihustatuse tagamiseks. Lisaks rakendatakse põletites sageli suruõhuga töötavat pneumaatilist süsteemi, mis omakorda tõhustab õli pihustumist.

Biodiisli maksustamine

2012. aasta algusest jõustus Soomes vedelate kütuste maksustamise uus süsteem, mille kohaselt biodiislilt tuleb tasuda energiasisalduse maks, süsihappegaasi maks ja hooldekindluse maks. Biodiisli kasutamisel põllumajandusmaas tules lähtuda biokütuste maksustamise reeglites. Samuti kuulub biodiisel samasugusele maksustamisele siis, kui seda kasutatakse kütteõlina. Seejuures taimeõli võrdsustatakse maksustamisel biodiisliga.

Biokütuse maksustus on kolmeastmeline, olenevalt sellest, millest ja kuidas see on valmistatud. Kõikides astmetes tuleb tasuda ühtne energiasisalduse maks (7,7 s/l) ja hooldekindluse maks (0,35 s/l). Neile lisandub süsihappegaasi maks, mis sõltub biodiisli valmistamise viisist:

- Kui biodiisel on toodetud jäätmeteks klassifitseeritavast materjalist, näiteks läbitöötatud praadimisrasvast, pole süsihappegaasi eest maksta vaja. Kokku tuleb siis maksta 8,05 s/l.
- Kui biodiislit toodetakse muust toormest, vastavalt direktiivis 2009/28/EY (RES-direktiiv)¹⁸ kehtestatud jätkusuutliku arengu kriteeriumidele, lisandub süsihappegaasi maks 4 s/l ja summaarseks maksumääraks kujuneb siis 12,05 s/l.
- Muudel juhtudel on süsihappegaasi maksuks 8 s/l ning kokku tuleb maksta 16,05 s/l.

Punktis 2 esitatud juhul peab tootja vajadusel suutma tõestada, et toode täidab RES-direktiivis kehtestatud kriteeriumid. Kütust tööstulikut tootvatel ettevõtetel pole raske valmistatava too-

te kohta esitada nõuetekohast dokumentatsiooni, kuid põllumajandustalu jaoks võib selle koostamine osutuda väga tülikaks. Praeguseks pole veel kindlapiirilist praktikast välja kujunenud, mistõttu biodiisli tootmise alustamiseks tasub talunikul täpsete instruksioonide saamiseks võtta ühendust maksustust korraldava tolliametiga.

Biodiisli tasuvus

Rapsi või rüpsiseemnest biodiisli tootmise kasumlikkus sõltub nende kultuuride tootmiskuludest, põllumajandustoetustest, õli pressimise ja ümberesterifitseerimise kuludest, rapsi turuhinnast ja biodiisliga korvatava tavakütuse hinnast. Hetkel on Soomes rüpsi turuhind 490 €/t. Tuominen¹⁹ on enam kui 3000 liitriise õli aastatoodangu puhul hinnanud rüpsi pressimiskuludeks 0,22 €/l. Ümberesterifitseerimine maksab erinevate allikate põhjal hinnanguliselt 0,3 €/kg.

ProAgrian koostatud mudeliga kalkuleerimisel²⁰ osutus (arvestades kõiki kuluartikleid saagikusel 1500 kg/ha) 2012. aasta rüpsitootmise maksumuseks 1,2 €/kg. Võttes arvesse ka hektaritoetused, saadi rüpsi tootmiskuludeks 0,77 €/kg (piirkond A), mis teeb rüpsiõli toorainepõhiseks hinnaks ligikaudu 2,4 €/l (30% õlisaagise ja 0,92 kg/l õli tiheduse korral). Antud tulemustega seoses tuleb märkida, et ka rüpsi tootmine müügis, hinnaga 0,49 €/kg, on kahjumlik.

Kui biodiislit valmistatakse ja kasutatakse oma talus, tuleb toorme hind määrata rüpsiseemne müügist loobumisel saamata jääva raha alusel. Seega võib biodiisli tootmiseks kasutatava toorme hinda lugeda rüpsi müügihinnaga võrdseks. Rüpsi praeguse hinnataseme korral on toorme maksumuse osa rüpsiõli tootmisel 1,5 €/l ja biodiisli valmistamise üldkuludeks koos pres-

18 Euroopa Parlamendi ja Nõukogu Direktiiv 2009/28/EÜ

19 Tuominen, A. 2007. Rypsiöljyn tuotanto ja käyttö bioenergiana maatilalla. Laurea-ammattikorkeakoulu. Hyvinkää. 31 p.

20 ProAgria 2012, Tuottopehtori-palvelun kustannuslaskelmat. <http://www.proagria.fi/tuottopehtori/>

simise, ümberesterifitseerimise ja maksustamisega kujuneb ligikaudu 2,1 €/l. Lisaks saadakse iga biodiisli liitri kohta 2,1 kg rüpsikooki. Kui koogi hinnaks on 250 €/t, siis vähendab see biodiisli liitrihinda 0,5 € võrra ning rüpsiseemnetest toodetud biodiisli hinnaks jääb 1,6 €/l, millest rüpsiõli hind oleks 1,3 €/l. Tootmisel tekkivat glütserooli väärtust kütteainena ei ole antud juhul arvestatud, kuid selle mõju lõpptulemusele on väike.

Ülaltoodud näidisarvutus tõestab, et biodiisli tootmine rüpsiseemne praeguse hinnataseme korral ei tasu end ära. Tasuvus oleneb siiski suures määral töötlemise kõrvalsaaduste hinnatasemest ning põllumaa tootlikkusest, arvestades selle muud võimalikku kasutust. Tootmise planeerimisel tuleks sooritada nimetatud tegurite kohta põhjalikud arvutused. Praeguses olukorras on biodiisli valmitamisel mõistlik toormeks kasutada eelkõige müügikõlbmatut rüpsi.

Kui lisatoormeks õnnestub tasuta hankida toidujäätmete rasva, siis muutub biodiisli valmistamine märgatavalt tasuvamaks. Arvestades rasva ümberesterifitseerimise kuludeks 0,3 €/l (mis on sama kui ülaltoodud rüpsiõli arvutustes), saame biokütuse hinnaks koos maksudega ligikaudu 0,4 €/l. Sellele lisanduvad rasva kogumise ja võimaliku eeltöötlusega (näiteks filtreerimisega) seotud kulud.

Biokütuste energia ja keskkonnamõjud

Selleks, et biokütuste tootmine oleks mõttekas, peab kütusest saadav energia olema suurem selle tootmiseks kulutatud energiast. Arvestades kõiki tootmise energeetilisi sisendeid, kaasa arvatud päikeseenergiat, ei oleks see termodünaamika seaduste kohaselt võimalik. Päikeseenergia jäetaksegi üldjuhul biomaterjalide energiabilansist välja, põhjendusega, et päike paitab alati, sõltumata sellest, kas energiat tootesse salvestub või mitte. Päikese kiirgust käsitletakse seetõttu

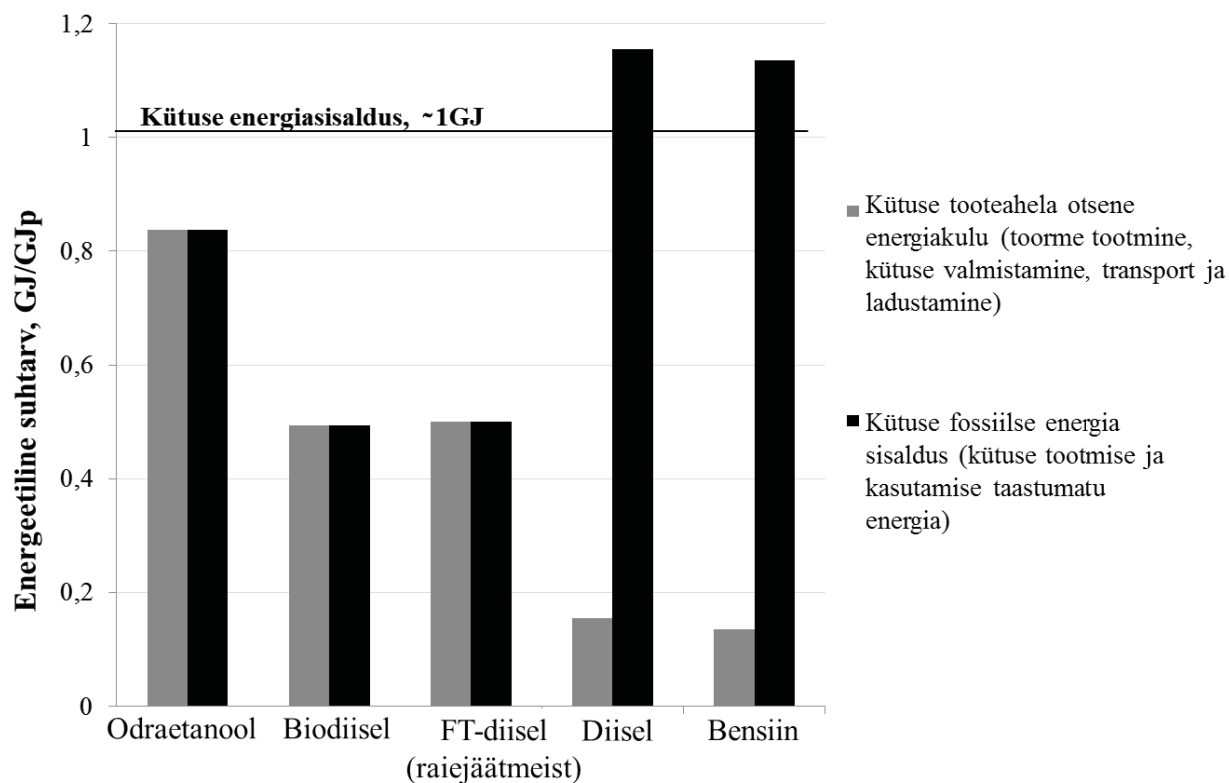
”kuluvaba” energeetilise sisendina.

Joonisel 14 on esitatud erinevate biokütuste valmistamiseks kuluva energia ja toote energiasisalduse suhtarv (püstiteljel on energeetiline suhtarv)²¹. Etanooli tootmisel odrast on energeetiline suhtarv 0,8 ja 1,0 vahel: seega vajatakse tootmiseks peaaegu sama palju energiat kui seda on tootes. Biodiisel on energeetiliselt märgatavalt tõhusam, selle valmistamiseks vajatakse ligikaudu poole võrra vähem energiat kui seda on saadaval tootes (energeetiline suhtarv on alla 0,5. Joonis 14 kajastab ka erinevate kütuste tooteahelas vajaminevat ja neis sisalduvat fossiilset energiat. Kui biodiisli tootmiseks kasutatav energia pärineks ka üksnes fossiilsetest allikatest, säästab iga liiter biodiislit ikkagi üle poole liitri fossiilset kütteainet. See tuleneb sellest, et nii diisli ja bensiini sisalduv kui ka nende tootmisele kuluv energia on fossiilset algupära.

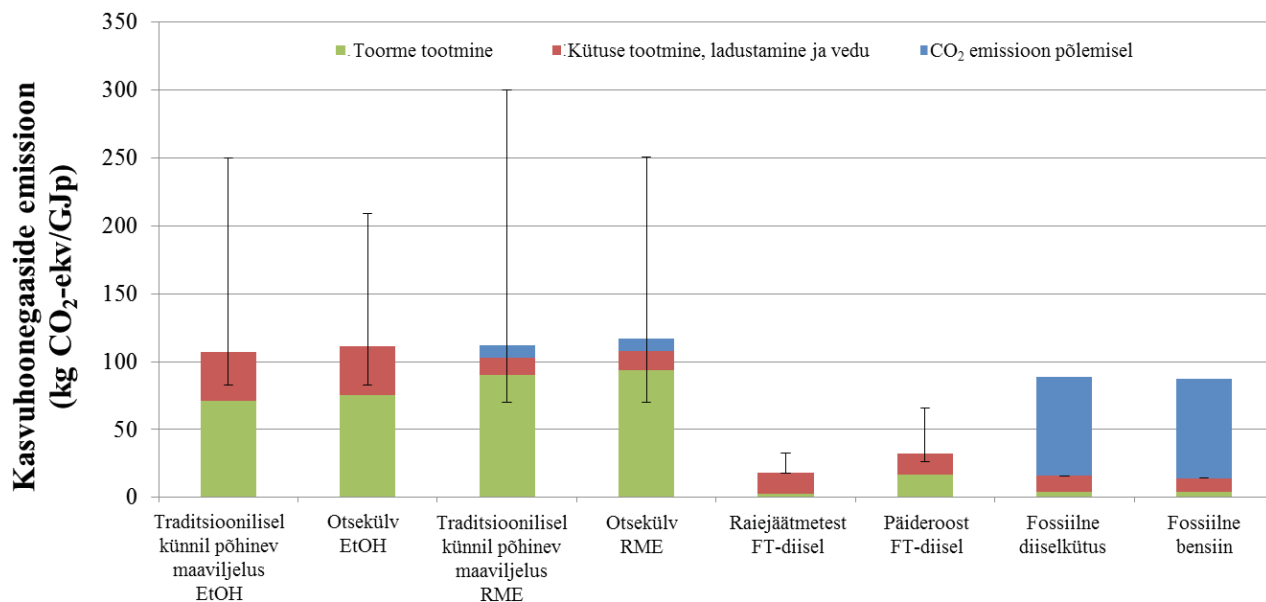
Biokütuste kasutamist ei loeta üldjuhul õhu süsinikdioksiidi sisaldust suurendavaks tegevuseks, sest põletamisel vabaneva süsiniku olid taimed eelnenud kasvuperioodi jooksul omandanud õhust. Muude põletamisel tekkivate heitmete (lämmastikoksiid, lämmastikdioksiid, vingugaas, tahked osakesed jne) kogused on tavapäraste kütuste omadest küll suuremad, kuid mitte oluliselt. Põhiosa biokütuste saastekoormusest ning suur osa nende tootmiseks vajalikust energiast seostub eelkõige toorme tootmisega. Põhiliselt puudutab see esimese põlvkonna biokütuste valmistamist, mille toore saadakse algselt toidutootmiseks mõeldud energiamahukas (intensiivse maaviljeluse) tootmistsüklis. Biokütuste ja fossiilsete kütuse kasvuhoonegaaside sisaldused on esitatud **joonisel 15**.

Maaviljeluses kulub enamus energiast väetiste tootmisele, mis ühtlasi põhjustab suurt

²¹ Mäkinen, T, Soimakallio, S, Paappanen, T, Pahkala, K & Mikkola, H. 2006. Liikenteen biopoltoainete ja peltoenergia kasvihoonegaasutaset ja uudet liiketoimintakonseptit. VTT tiedotteita 2357. 134 p.



Joonis 14. Erinevate kütuste otsese energia sisendväärtuste ja fossiilse kogueenergia sisendi suhe kütuse energiasisaldusse (adapteeritud "VTT:n tiedotteita 2357" andmetele tuginedes)



Joonis 15. Kasvuhoonegaaside sisaldused biokütuste ja fossiilsete kütuste heitmetes (VTT tiedotteita 2357)

kasvuhoonegaaside emissiooni. Seejuures väetiste kasutamisel atmosfääri sattuv diämmastikoksiid (N_2O) on umbes 300 korda tugevama toimega kasvuhoonegaas kui süsinikdioksiid. Väetiste tootmise, transpordi ja põldude väetamisega kaasnev diämmastikoksiidi emissioon on rapsikasvatuse suurimaks kasvuhoonegaaside allikaks. Keskkonnamõjude poolest on kahjulikkuselt teisel kohal mulla lupjamisest tingitud süsihappegaasi emissioon, millele järgnevad põllutöömashinate kasutus ja saagi kuivatamisega seotud tegevused.

Biokütuste tootmisel tekkivate kasvuhoonegaaside kogustes esineb siiski ulatuslikku varieeruvust, mis ilmneb ka jooniselt 15. Kasvuhoonegaaside emissiooni mõjutab näiteks saagikus, sest kui samade energeetiliste sisenditega saadakse suuremat saaki, väheneb vastavalt biokütuste energiaühiku tootmisel tekkiv heitmekogus. Sama juhtub siis, kui vähese lisapanuse abil (hai-
guste või taimekahjurite tõrje rakendamisega),

saadakse märkimisväärne toodangu juurdekasv. Arvutuslikud mudelid on siiski kaunis ebatäpsed ja nende abil hinnatavaid süsteeme käsitletakse lihtsustatult. Samuti võib hinnaguid vääras suunas mõjutada energiakasutus ja sellega kaasnevaid heitmeid käsitleva andmestiku puudulikkus.

Kokkuvõtteks võime tõdeda, et läbiviidud uuringute kohaselt kulutatakse biodiisli valmistamiseks umbes pool selles sisalduvast energiast ning biodiisli kasutamisel tekib ligikaudu sama palju heitmeid kui fossiilsete kütuste puhulgi. Ühiskondlikes aruteludes on biokütuste (kaasa arvatud biodiisel) tootmist vahepeal hakatud isegi pidama ebaratsionaalseks, puuduliku energeetilise suhtarvu ja samale tasemele jäävate või isegi suurenevate heitmekoguste tõttu. Kuna aga ühe liitri biodiisli tootmisel hoitakse kokku üle poole liitri taastumatut kütust (kusjuures heitmete kogused püsivad suures plaanis endisel tasemel), peaks vist ikkagi nõustuma sellega, et biokütuste tootmine on energiamajanduslikult mõistlik tegevus.

Vedelad taastuvkütused:

- Mitmetes diiselmootorites on võimalik kütusena kasutada rapsist valmistatud metüülestrit (RME).
- Alkoholi kasutamisel kütusena tuleb sellesse segada lisaaaineid või modifitseerida mootorit.
- Biogaasi kasutamisel tuleb samuti mootorit täiendada, millega sageli kaasneb mootori kasutusea lühenemine.
- Biokütuste abil saab "sästa" fossiilset energiat.
- Etanooli tootmisel teraviljast jääb energeetiline suhtarv sageli ühe lähedale, mis näitab, et niimoodi fossiilset energiat kokku hoida ei õnnestu.
- Arvestades kõiki biokütustest tulenevaid heitmeid, on nende osa kasvuhoonegaaside emissioonis suurem kui fossiilsetel kütustel.
- Biokütuste tootmise rentaablus on põllumajandustootjate jaoks praegu veel ebarahuldav.

PÕLLUMAJANDUS 2020

Argo Normak, Helis Rossner, Hannu Mikkola



Foto: Toivo Suuroja



Rannikualadel on perspektiivseks taastuvenergia allikaks tuuleelekter (foto: Väino Poikalainen)

Maaelu arengud

Eesti põllumajandus ja maaelu on viimase paari aastakümne läbi teinud suured muutused. Vähenenud on põllumajanduse osatähtsus Eesti majanduses, aga sellel on oluline roll toiduga varustuse tagamisel ja maapiirkondade ettevõtluse, elukeskkonna ning kultuurmaastiku kujundamisel. Eesti riik suunab maapiirkonna arengut vastavate Eesti Maaelu Arengukava meetmetega, millel on kolm prioriteedi telge¹:

- põllumajanduse ja metsanduse sektori konkurentsivõime parandamine;
- keskkonna ja paikkonna parandamine;
- maapiirkondade elukvaliteedi parandamine ja maamajanduse mitmekesistamine.

Eesti maaelu arengukava prioriteetidest aastateks 2014 – 2020 on eraldi punktina välja toodud ressursi sääst ja keskkonnasäästlik majandus, millega reguleeritakse põllumajandusettevõtte arengusuundi. Lisaks prioriteetidid nagu teadmusiire põllumajanduses ja metsanduses, põllumajanduse konkurentsivõime ja põllumajandus-

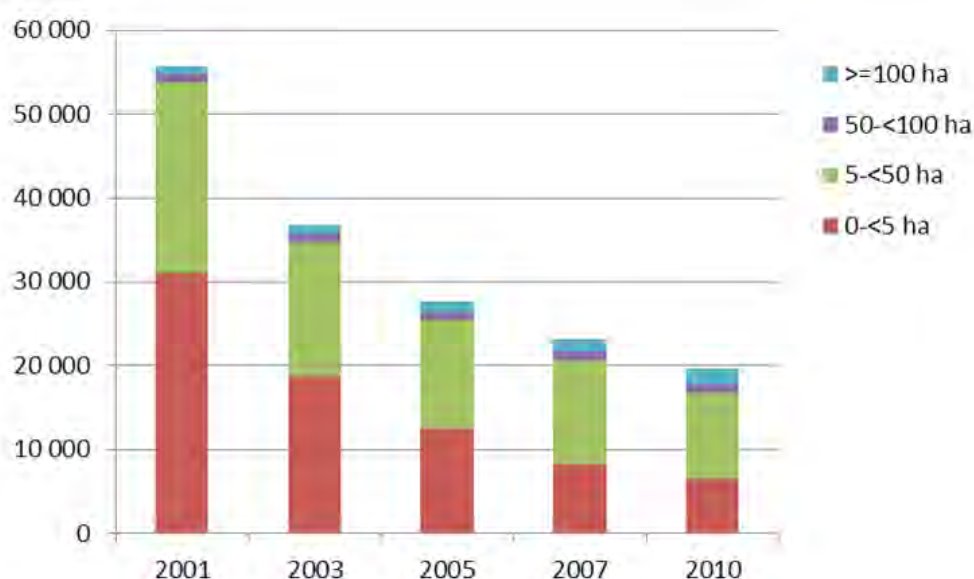
tevõtete elujõulisus, toiduahel ja riskijuhtimine, ökosüsteemid, töökohad ja maapiirkonna areng mõjutavad põllumajandusettevõtte otsuseid aastaks 2020.²

Põllumajandusettevõtete suurus ja loomade arv

Aastatel 2001 – 2010 on Eestis toimunud suured muutused, oluliselt on vähenenud põllumajandusega tegelevate majapidamiste arv ja maapiirkondade tööhõive. 2010. aastal läbi viidud põllumajandusloenduse tulemused kinnitasid majapidamiste vähenemise trendi maapiirkondades. Majapidamiste (ettevõtete) struktuuri muutus perioodil 2001 – 2010 on toodud **joonisel 1**. Ettevõtete arv vähenes 65%, seda põhiliselt väikeste majapidamiste arvel, suuremate põllumajandusettevõtete arv on samas kasvanud. Suurte ettevõtete valduses oli 2010. aastal 55% põllumajandusmaast ja 83% loomakasvatusest, ettevõtete arvust oli neid 5%, kuid andsid 75%

1 Eesti maaelu arengukava 2007–2013. <http://www.agri.ee>

2 Eesti Maaelu Arengukava 2014-2020. <http://www.agri.ee/mak2014-2020/>



Joonis 1. Majapidamiste arvu muutus aastatel 2001 kuni 2010

toodangust. Töövõime kasv on Eesti põllumajanduses olnud majandusharudest suurim ja tõenäoliselt see jätkub arvestades ettevõtete arvu kahanemise trendi ja põllumajandusmaa koonustumist väiksema arvu tootjate kätte. Mikropõllumajandusettevõtete investeerimisvõimekus masinatesse, seadmetesse ja ehitistesse on olnud suhteliselt kesine võrreldes suurettevõtetega. See on ka üks tootmise koondumise põhjustest suurtesse tööstuslikesse põllumajandusettevõtetesse. Mahepõllumajanduse osakaal aga kasvab, 2010. aastal oli mahetootmiseks kasutatav põllumajandusmaa suurus 122 000 ha (sh mahetootmiseks üleminekul olev maa), mis moodustas ligi 13%

kogu põllumajandusmaast.³

Viimasel kümnendil toimunud muudatused Eestis ja Soomes on sarnased ja vastavad näitajad on koondatud **tabelisse 1**. Eesti Vabariigi Valitsus on seadnud järgmised eesmärgid maaelu arengule aastaks 2015: (mittepõllumajanduslike ettevõtete osakaalu suurenemine maapiirkondade ettevõtete hulgas 75%-ni, tööhõivemäära kasv maapiirkonnas 59%-ni, põllumajanduses netolisandväärtuse juurdekasv aastas keskmiselt tööjõu ühiku kohta 2,8% (FADN)). Lähtudes nendest eesmärkidest ja prognoosides arenguid 2020.

³ Valdvee, E., Klaus, A. 2012. Põllumajanduse trendid ja hetkeseis 2010. aasta loenduse andmetel. Eesti Statistika kvartalikirj 1/2012

Tabel 1. Põllumajanduslike majapidamiste, loomade arvu, maakasutuse ja tootmise arengu indikaatorid Eestis ja Soomes (NA - andmed puuduvad)

Nimetus	Eesti ^{a)}		Soome		
	2001	2010	2000	2010	2020 prognoos
Põllumajandusmaa, milj. ha	0,88	0,94	2,21 ^{b)}	2,30 ^{b)}	2,30
Põllumajandusettevõtted, tk	55 726	19 613	79 800 ^{b)}	62 800 ^{b)}	45 000 ^{c)}
Põllumajandusmaad ettevõtte kohta keskmiselt, ha	15,8	47,9	28,0 ^{b)}	36,7 ^{b)}	47,0
Piimakarjakasvatuse ettevõtted, tk	17 527	3520	22 900 ^{b)}	11 300 ^{b)}	5000 ^{c)}
Lüpsilehmad, tk	127 969	96 263	364 100 ^{b)}	289 300 ^{b)}	255 000
Piimatoodang, milj liitrit	0,684	0,676	2450 ^{b)}	2268 ^{b)}	2200
Seakasvatuse ettevõtted, tk	11 791	1 549	4300 ^{b)}	2100 ^{b)}	1000 ^{c)}
Sead, milj. tk	0,33	0,39	1,30 ^{b)}	1,37 ^{b)}	1,30
Teraviljakasvatuse ettevõtted, tk	20 542	5728	26 700 ^{b)}	24 400 ^{b)}	20 000 ^{c)}
Hõivatute arv põllumajanduses, tk	140 643	57 836	184 400 ^{b)}	125 000 ^{b)}	100 000 ^{c)}
Põllumajandustöötaja keskmine vanus, a	NA	NA	48 ^{d)}	51 ^{d)}	53
Energiakultuuride kasvupind, ha	NA	NA	500 ^{b)}	17 000 ^{b)}	5000...30 000
Põllumajandussektori energiatarbimine, TWh	1,2	1,1	NA	10 ^{e)}	9
Taastuvenergia osakaal energia kogutarbimises, %	3,3	0,9	NA	40 ^{e)}	50
Põllumajanduse biogaasijaamad, tk	0	1	6 ^{f)}	10 ^{f)}	30

a) Eesti Statistikaamet. <http://pub.stat.ee/px-web.2001/dialog/statfile2.asp>

b) Maa- ja metsatalousministeriön tietopalvelukeskus – TIKE 2011. Maatilatilastollinen vuosikirja 2011. 269 s. <http://www.maataloustilastot.fi/node/1131>

c) Pyykkönen, P., Lehtonen, H. & Koivisto, A. 2010. Maatalouden rakennekehitys ja investointitarve vuoteen 2020. Pellervon taloustutkimus PTT. PTT Työpapereita 125. 24 p. http://www.ptt.fi/dokumentit/tp125_1111100930.pdf

d) Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus –

TIKE 2012a. Maatalous- ja puutarhayritysten työvoima. Maatalouslaskenta 2010. <http://www.maataloustilastot.fi/e-lehti/index.html>

e) Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus – TIKE 2012b. Maatalouslaskenta 2010. Kastelu avomaalla ja energiankulutus. <http://www.maataloustilastot.fi/node/2642>

f) Suomen Biokaasuyhdistys 2012. Biokaasulaitosrekisteri. http://www.biokaasuyhdistys.net/index.php?option=com_content&view=category&id=37&layout=blog&Itemid=61

aastaks võib eeldada, et kuigi põllumajandusettevõtte kasutatav pind suureneb, siis väikeste majapidamiste arv kahaneb teatud piirina ja pihurdub.

Põllumajandusettevõtetes töötavate inimeste arv on toiminud suur langus, 2010. aastal oli põllumajanduses hõivatute arv umbes 58 tuhat, mis moodustas 2001. aasta tasemest vaid 40%. Aktiivsete majapidamiste arv vähenes 36 tuhande võrra, kuid tootmisnäitajad oluliselt ei langenud, haritava maa pindala ja sigade arv isegi suurenes. Ettevõtete tootlikkuse kasv ja kõrgem tööviljakus on tingitud uute tehnoloogiate rakendamisest ja tootmise koondumisest suurettevõtetesse.

Sajandi vahetusest kuni 2010. aastani on põllumajandusettevõtte keskmine suurus Eestis kasvanud 186%, Soome kasv on olnud oluliselt väiksem (27%). Soomes on keskmine põllumajandusettevõtte suurus 37 ha, prognoosi järgi kasvab see 2020. aastaks 47 ha-ni, lehmade arv vastavalt 24-lt 51-ni ning nuumsigade arv 275-lt 430-ni ettevõtte kohta. Kuigi põllumajandusettevõtete üldarv kahaneb, jääb toodang umbes samale tasemele tingimusel, et suudetakse ka edaspidi teha investeeringuid uutesse tehnoloogiatesse. Eesti kohta selliseid prognoose koostatud ei ole, kuid arvestades seda, et asume samas majandusruumis, siis on oodata ka Eestis sarnase suunaga arenguid.

Kui vaadata Eesti riigi eesmärke konkurentsivõime parandamiseks, siis strateegilised prioriteedid põllumajanduses on ressursisääst ja keskkonnasäästlik majandus, olulised on ka teadmussiire, konkurentsivõime ja maamajandusettevõtete elujõulisus. Erinevate meetmetega on kavas toetada maapiirkondade ettevõtteid ja organisatsioone, et tagada heal tasemel elukeskkond, mitmekesistada maapiirkondade ettevõtlust, hoida olemasolevat tootmisbaasi ja kindlustada elanikkonna toiduga varustamine.⁴

4 Konkurentsivõime kava 'EESTI 2020'. <http://valitsus.ee/et/riigikantselei/eesti2020>

Energia kasutamine

Energiapositiivne talu toodab energiat rohkem kui ta tootmiseks kulutab. Energiaga isevarustatust on lihtsam saavutada taimekasvatases kui loomakasvatases, sest loomakasvatases kasutatakse juba töödeldud toodangut ja iga töötlemisahela etapiga väheneb energiatõhusus paratamatult. Loomakasvatases on võimalik parandada energiatarbimist läbi söodatootmise energiatõhusamaks muutmise, sõnnikust ja jäätmetest biogaasi tootmise ja soojusvahetite abil ventilatsiooni jääksoojuse kasutamise.

Säästliku mõtteviisiga talu peaks lisaks kasvuhoonegaaside emissiooni minimeerimisele ja taastuenergia kasutamisele ka säästlikult mõtlema taastumatute loodasvarade kasutamisele.

Enim mõjutavad energiatehnoloogiate arengut ja energiasäästumeetmete rakendamist (sh talu tasandil) Euroopa Liidu poliitika ja regulatsioonid. Euroopa Liidu ühtse põllumajanduspoliitika arenguplaanides on 25% vahenditest suunatud kliimamuutuste pidurdamisele ja keskkonnahoiule. Kaudselt mõjutab see energia kasutust. Euroopa Liidu strateegias "EUROOPA 2020" on eesmärkideks aastaks 2020 suurendada energiatõhusust 20% võrra ja taastuenergia osatähtsust kogu energiatarbimisest 20%-ni.⁵

Soomes on põllumajanduse energiatarbimine ligikaudu 10 TWh, millest 40% on taastuenergia. Eestis on põllumajanduses energiatarbimine umbes 10 korda väiksem, 2010. aastal oli põllumajanduse energiatarve kokku 1,1 TWh, taastuenergia moodustas sellest vaid 0,9%. Samas moodustab umbes 70% põllumajanduse energiatarbest masinate mootorikütus. Energiatõhususe suurendamiseks tuleb optimeerida materjalide kasutust ja parandada masintööde täpsust. Pidevalt juurutatakse ka uusi maaharimisvõtteid (sh täppismaaharimine), mis võimaldavad vähendada masintöötunde ja säästa väetiseid ja kemikaa-

5 Strateegia EUROOPA 2020. http://ec.europa.eu/europe2020/index_et.htm

le. Kindlasti tuleb jätkuvalt tähelepanu pöörata ka elektrienergia säästmisele valgustuses ja elektimootorite kasutamisel, näiteks ventilatsiooni-süsteemides. Soojusenergia tarbimise minimeerimiseks on soovitatav rajada energiasäästlikke hooneid, isoleerida korralikult tootmisrajatised ja kasutada heitsoojust hoonete kütmiseks.

Taastuvenergia tootmine

Taastuvenergia eesmärgid EL liikmesriikidele on kinnitatud taastuvenergia direktiiviga 2009/28/EÜ. Direktiivist tulenevalt peavad liikmesriigid aastaks 2020 tagama 20%-lise taastuvenergia osakaalu energia lõpptarbimises. Taastuvenergia lõpptarbimise osakaalu kohustus on riigiti erinev: Eestis peavad 2020. aastaks taastuvad energiaallikad moodustuma 25% ning Soomes 38%. Bioenergia tootmisel on oluline osa nende eesmärkide täitmisel.⁶

Suure osa taastuvenergia tootmisest ning tarbimisest moodustab Eestis bioenergia. 2010. aastal oli biomassi, -kütuste ja -gaasi toodang kokku 37 375 TJ, millest puidu biomass moodustas 99%. Taimset tahket biomassi toodeti põllumajanduses (sh rohtseid kultuure) 2009. aastal 607 TJ. Energiakultuuride toetust oli Eestis võimalik taotleda aastatel 2007 – 2009, mil bioenergiakultuuride kasvupind suurenes 11 512 hektarilt 23 964 hektarile. Sellest 23 750 hektaril kasvatati rapsi ja rüpsi, 135 hektaril päideroogu, 77 hektaril teravilja ja kahel hektaril paju.⁷

Päideroo kasvatamine energiakultuurina levis Soomes alates 2000. aastast, kuid peatus 2008. aastal. 2010-st aastast on näha langustrendi. Selle peamised põhjused on teravilja hinna tõus, saastekvootide madalad hinnad, biomassi põletamise tehnilised raskused ning vajalike põletite vähesus. Soome Bioenergia Assotsiatsiooni ees-

märkideks on seatud päideroo viljelusmaa kasv 150 000 ha aastaks 2020. Hetke olukord näitab, et päideroo külvipinna kasv ei saavuta antud eesmärki. Teised potentsiaalsed energiakultuurid (rüps/raps, kaer, hein, energiavõsa) on peamiselt katsepõhised ega näita võimalikku kasvu lähitulevikus. Eesti looduslikud tingimused toetavad metsa- ja põllumajandusmaa kasutamise tõhustamist, mis loob eeldused taastuvressurside edasiseks väärindamiseks ja kasutamiseks toiduainete- ja puidutööstuses ning ka bioenergia tootmiseks. Üheks biomajanduse väljundiks on transpordisektori keskkonnamõju vähendamine, näiteks biogaasi tootmise näol transpordisektorile.⁸ Prognoose ja uuringuid põllumajandusettevõtete energiaga isearustamise arengute ja toetuskeemide mõju kohta Eestis tehtud ei ole. Kuid biogaasi tehnoloogia juurutamine lisaks puitkütuste kasutamisele annab põllumajandusettevõtetele võimaluse toota suurem osa vajaminevast energiast kohapeal. Põllumajandusettevõtete struktuurimuutused liiguvad efektiivsema energiakasutuse suunas. Suurte ettevõtete eeliseks on parem investeerimise võimekus, sh taastuvenergia tehnoloogiatesse, väiksemate ettevõtete puhul on võimaluseks energiaühistute loomine. Eesti taastuvenergia tegevuskava näeb ette maamajanduse mitmekesistamist mittepõllumajandusliku tegevuse suunas, ühe meetmetena rakendatakse bioenergia tootmise investeeringutoetust maaelu arengukava programmi raames.⁹

Kuna energiakultuuride kasvatamine konkureerib põllumajandusmaal toidu- ja söödakultuuridega, tuleb nende kasvatamise potentsiaali hindamisel sellega arvestada. Teoreetiliselt võiks Eestis energiakultuure kasvatada kasutusest välja jäänud põllumajandusmaal, mida on üle 300 tuhande hektari¹⁰.

8 Konkurentsivõime kava 'EESTI 2020'. <http://valitsus.ee/et/riigikantselei/eesti2020>

9 Eesti taastuvenergia tegevuskava aastani 2020. http://www.mkm.ee/public/nreap_EE_final_101126.pdf

10 Biomassi ja bioenergia kasutamise edendamise arengukava aastateks 2007-2013. <http://www.agri.ee/public/>

6 Direktiiv 2009/28/EÜ

7 Eesti Konjunkturiinstituut 2011. Ülevaade Eesti bioenergia turust 2010. aastal. http://www.mkm.ee/public/Ylevaade_Eesti_bioenergia_turust_2010._aastal.pdf

Eestis spetsiaalseid energiakultuure praktiliselt ei viljeleta, põhilisteks põhjuseks on väljakuunemata turg ja kogemuste vähesus. Eesti Taastuvenergia Koda ja Eesti Keskkonnaühenduste Koda avaldasid 2012. aastal tegevusplaani Eesti elektri- ja soojusenergia varustuse tagamiseks 100% taastuvenergiaallikatega. Selle plaani puhul on eeldatud, et 20% söötis maadest (65 tuhat ha), 30% poollooduslike koosluste maadest (9 tuhat ha), 5% haritavast maast (41,5 tuhat ha) on kasutatud bioenergia tootmiseks.¹¹

Ökokogukonnad ja mahetootmine

Ökokogukonnad viljelevad ja propageerivad säästlikku elustiili. Eestis on ökokogukondade liikumine üsna noor, 2008. aastal moodustati MTÜ Eesti Ökokogukondade Ühendus (*Network of Estonian Eco-communities – NEEC*), mis koondab eksisteerivaid ja loomisel olevaid ökokogukondasid. Kogukondade eesmärgiks on ter-

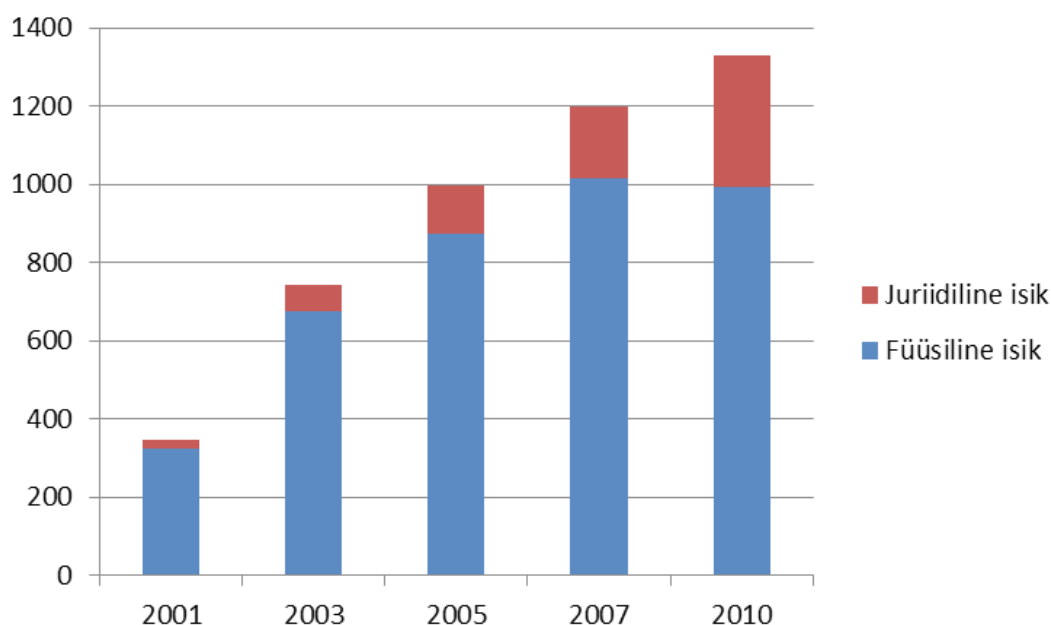
juurkataloog/BIOENERGEETIKA/bioenergia.pdf
 11 100% üleminek taastuvenergiale aastaks 2030 Eesti elektri- ja soojamajanduses, Eesti Taastuvenergia Koda ja Eesti Keskkonnaühenduste Koda 2012. Kättesaadav: <http://www.goal.ee/taastuv/te100kava.pdf>

viklik säästlik eluviis, mis haarab erinevaid elu tahke, nagu ökoloogia, haridus, osalusdemokraatia, säästvad tehnoloogiad ja majandustegevus.¹²

Arvestades elanikkonna teadlikkuse kasvu ja üha laienevat tervislike eluviiside pooldamist võib lisaks ökokogukondade laiemale levikule eeldada ka mahepõllumajandusega tegelevate ettevõtete arvu kasvu. Mahepõllumajandusega tegelevate tootjate arvu muutus aastate jooksul on toodud **joonisel 2**. Huvitavaks trendiks on äriettevõtete (juriidiline isik) osakaalu suurenemine mahetootjate hulgas.

Eestis oli 2010. aastal mahetootjaid 1356, kümne aastaga on mahepõllumajandusega tegelevate tootjate arv neljakordistunud. Mahepõllumajandusliku maa pindala oli 2010. aastal 121 815 hektarit (umbes 13% kogu põllumajandusmaast). Soomes on haritavast maast 7,5% mahedalt majandatav. Enamus mahetootjatest tegeleb mõlemas riigis loomakasvatusega. Maheloomakasvatusega tegelevate hulk Eestis võrrelduna mahetootjate üldarvuga on esitatud **joonisel 3**.

12 <http://www.kogukonnad.ee>

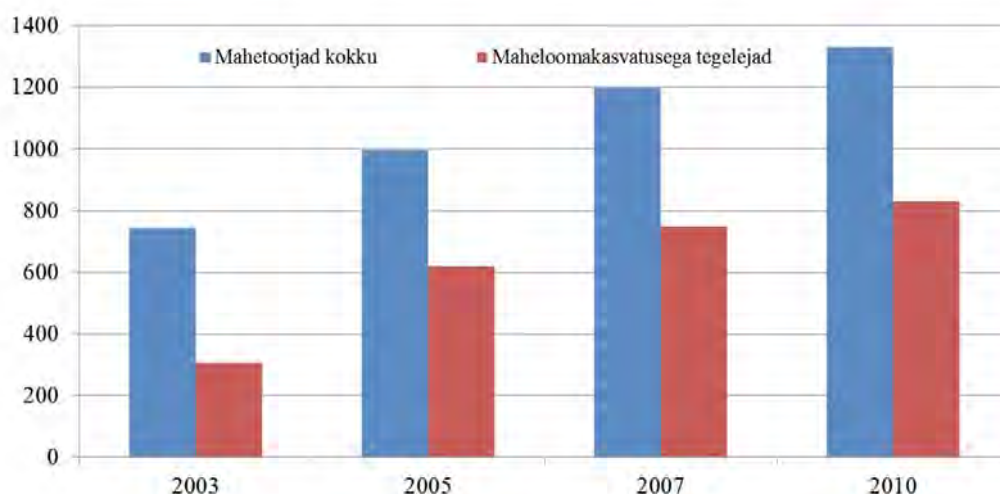


Joonis 2. Mahepõllumajanduslike majapidamiste arv

Eesti mahetootjatest tegeleb maheloomakasvatusega veidi üle 60%. Enim kasvatatakse lam-baid (üle poole Eestis kasvatatavatest lammastest on mahetoodang) ja veiseid. Maaeluarengukava 2014 – 2020 üheks prioriteetiks on keskkonnasäästliku tootmise edendamine, soodustatakse ka väiksema sisendihulgaga tootmist, sh mahetootmist.

Mahepõllumajandustootmise peamiseks probleemiks on tootmis-töötlemisahela halb toimimi-

ne, mistõttu suur osa mahetoodangust töödeldakse koos tavatoodanguga ning seeläbi kaotab see oma väärtuse. Osaliselt seetõttu on toimunud ka mahepõllumajandustooteid töötleva tööstuse ja turuarenduse mahajäämus. Mahetoodangu nõudluse suurenedes see probleem lahendatakse, sest mahetoodete tootmine ja turustamine muutub majanduslikult tasuvamaks.



Joonis 3. Maheloomakasvatusega tegelevate majapidamiste arv

Põllumajandus aastal 2020

- Põllumajanduses hõivatud inimeste ja ettevõtete arv väheneb.
- Põllumajandusliku toodangu põhiosa annavad suurettevõtted.
- Haritava põllumajandusmaa pindala ja loomade arv oluliselt ei muutu.
- Masinad on kõrge tööviljakuse ja -efektiivsusega.
- Suureneb infotehnoloogia osatähtsus tootmises, sh tootmise juhtimisel, dokumenteerimisel ning suhtlemisel tarnijate ja toodete ostjatega.
- Energia kasutuse planeerimine on viidud täpseks energia ostmiseks elektribörsilt ja energiasäästumeetmete rakendamiseks.
- Energiakultuuride kasvatamiseks on kasutuses 5% põllumajandusmaast ja osaliselt poollooduslikud rohumaad.
- Suureneb põllumajanduslike biogaasijaamade arv taastuvenergia ja biometaanitootmiseks.
- Nõudlus mahetoodangu järele kasvab, mahetootmise osakaal suureneb.
- Põllumajandusettevõtted moodustavad ühistuid uute tehnoloogiate rakendamiseks ja energia tootmiseks.



ISBN 978-9949-484-70-6



9 789949 484706