

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# KANGASLAMMIN ENERGIAOMAVA- RAISUUS

Pelto- ja metsäenergia

TEKIJÄT Niina Eskelinen  
Mika Leppänen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Niina Eskelinen ja Mika Leppänen	
Työn nimi Kangaslammin energiaomavaraisuus, Pelto- ja metsäenergia	
Päiväys	15.11.2022
Sivumäärä/Liitteet	37
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani Kehittämisyhdistys Mansikka ry - EKOTEKOJA ympäristön ja ilmaston parantamiseksi kohti hiilineutraalia Pohjois-Savoa Mansikan alueella	
<p>Maatalous on ajautumassa vaaralliseen talouskriisiin. Maatalouden tuotantopanosten, kuten lannoitteiden ja energian, hinnat ovat viime vuosina nousseet nopeasti ja ennalta-arvaamattomasti. Tämän lisäksi Suomessa on herätty huoleen, ettemme ole energian suhteen omavaraisia. Tämän seurauksena on alettu panostaa kestävään, uusiutuvan energian rakentamisen nopeuttamiseen. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, onko entinen Kangaslammin kunnan alue energiaomavarainen, kun energiaomavaraisuutta tutkitaan metsä- ja peltoenergioiden osalta. Tavoitteena oli tuottaa kattava teoriapaketti aiheesta sekä tehdä niiden lisäksi laskelmia saatavilla olevista energiavaroista. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Kehittämisyhdistys Mansikka ry:n kehittämishanke EKOTEKOJA, joka halusi kartoitusta Pohjois-Savon alueen uusiutuvien energioiden osalta sekä mahdollisuuksista niiden hyödyntämiseen. Aihe oli laaja, joten yhteisymmärryksessä aluetta rajattiin Kangaslammin alueeksi, samoin uusiutuvista energioista valittiin tarkasteluun metsä- ja peltobiomassat.</p> <p>Tietoa alueen bioenergiasta kerättiin peltobiomassojen osalta Biomassa-atlas-karttapalvelun avulla sekä metsäenergiaa Metsäkeskuksen kautta. Näiden lisäksi kerättiin paljon ajantasaista tietoa eri bioenergian kanssa toimivilta tahoilta, kuten Luonnonvarakeskukselta ja Motivalta. Tiedonkeruun jälkeen tehtiin laskelmia, joilla pyrittiin vastaamaan tutkimuskysymykseen.</p> <p>Työn tuloksena saatiin vastaus alueen energiaomavaraisuudesta; alue ei ole peltobiomassojen osalta omavarainen, mutta metsäenergian osalta energiaa riittää yli omien tarpeiden. Saatuihin tuloksiin tulee suhtautua kriittisesti, sillä saaduista tuloksista ei olla vähennetty matkoihin tai voimalaitoksen käyttöön kuluvia energioita. Lisäksi peltobiomassojen laskuihin saatiin kerättyä ainoastaan tukia hakeneet peltoalat, joten peltobiomassoista saatu tulos on todellista arvoa pienempi.</p>	
Avainsanat Bioenergia, biokaasu, energiakasvit, energiametsät, hajautettu energiatuotanto, lämmön tuotanto	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author(s) Niina Eskelinen and Mika Leppänen	
Title of Thesis Energy Self-Sufficiency of Kangaslampi, Field And Forest Energy	
Date 15. November 2022	Pages/Appendices 37
Client Organisation /Partners Development association Mansikka ry - EKOTEKOJA to improve the environment and climate towards a carbon-neutral Pohjois Savo in the Mansikka region	
<p>Agriculture is heading towards a dangerous economic crisis. The prices of agricultural production needs, such as fertilizers and energy, have risen rapidly and unpredictably in recent years. Concerns have been raised that Finland is not self-sufficient in energy. As a result, investments have been made to accelerate the construction of sustainable, renewable energy. The purpose of this thesis was to find out whether the former area of Kangaslampi municipality is energy self-sufficient, when energy self-sufficiency is explored in terms of forest and field energy. The main goal was to produce a comprehensive theory package on the subject and make calculations about the available energy resources. The thesis was commissioned by Mansikka ry's EKOTEKOJA-project, which wanted a report of renewable energy options in the North Savon region. The topic was broad, so the area was limited to Kangaslampi area, and forest and field biomasses were also selected for renewable energy options.</p> <p>Information of bioenergy in the area was collected using the Biomass-atlas map service and through Metsäkeskus. In addition to these, a lot of up-to-date information was collected from different operators who are working on bioenergy, such as Luonnonvarakeskus and Motiva. After the data collection stage, calculations were made to answer the research question.</p> <p>The result of the thesis was an answer about the energy self-sufficiency of the region; the area is not self-sufficient in terms of field biomass, but in terms of forest energy there is enough energy to exceed its own needs. The received results has to be viewed critically, because the energy consumed on travel or the use of the power plant has not been reduced from the obtained results. In addition, only fields that applied for subsidies could be included in the calculations of field biomass, so the result obtained from field biomass is lower than the actual value.</p>	
Keywords Bioenergy, biogas, energy plants, energy forests, decentralized energy production, heat production	

## SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET, SYMBOLIT JA ENERGIAYKSIKÖT .....	6
1 JOHDANTO .....	7
2 PELLOSTA SAATAVA ENERGIA .....	8
2.1 Peltobiomassa.....	8
2.1.1 Viljeltävät energialajikkeet.....	9
2.2 Tapoja tuottaa peltobiomassoista energiaa .....	10
2.2.1 Polttaminen ja kaasutus .....	10
2.2.2 Mädättämällä biokaasuksi.....	11
2.2.3 Etanoli ja biodiesel.....	12
2.3 Peltoenergian tukipolitiikka .....	13
3 METSÄENERGIA .....	14
3.1 Metsäenergian kulutus suomessa .....	14
3.2 Metsähakkeen laatuluokituksen määrittely .....	17
4 VARKAUDEN KAUPUNGIN KANGASLAMMIN ALUE.....	18
4.1 Kangaslampi.....	18
4.2 Kangaslammin kirkonkylän lämpövoimalaitos .....	18
5 PELTOBIOMASSAT SELVITYS KANGASLAMMILLA .....	21
5.1 Lähtötilanne .....	21
5.2 Tiedonkeruu .....	21
6 PELTOBIOMASSOJEN LASKENNALLINEN ENERGIAPOTENTIAALI .....	22
6.1 Peltobiomassoista saatava energia polttamalla.....	22
6.2 Peltobiomassoista saatava energia mädättämällä .....	23
7 METSÄENERGIA SELVITYS KANGASLAMMILLA.....	25
7.1 Lähtötilanne .....	25
7.2 Tiedonkeruu .....	25
7.3 Metsävaratiedot Kangaslammin alueella .....	25
7.4 Energiapuun varastointi ja haketus .....	27
7.5 Energiapuun saatavuus .....	29
8 METSÄBIOMASSOJEN LASKENNALLINEN ENERGIAPOTENTIAALI.....	30
9 POHDINTA.....	32

9.1 Peltobiomassa.....	32
9.2 Metsäenergia.....	33
LÄHTEET .....	35

## KÄYTETYT LYHENTEET, SYMBOLIT JA ENERGIAYKSIKÖT

<i>d</i>	Kuiva (kuiva-aineesta) (dry)
<i>ar</i>	Saapumistilassa (as received)
<i>m – %</i>	Painoprosentti, massaprosentti
<i>A</i>	Tuhkapitoisuuden nimike, <i>Ad</i> ( <i>m – %</i> , <i>kuiva – aineesta</i> ) <sup>3</sup>
<i>BD</i>	Irtotiheyden nimike saapumistilassa $\left[\frac{kg}{m^3}\right]^3$
<i>CHP</i>	Sähkön ja lämmön yhteistuotanto
<i>MWh</i>	Megawattitunti
<i>kWh</i>	Kilowattitunti
<i>kg ka/ha</i>	Ruokakilon kuivapainoa eli kuiva-aineen määrää hehtaaria kohti
<i>E<sub>ar</sub></i>	Energiatiheys saapumistilassa, $\left[\frac{MWh}{i-m^3}\right]$
<i>i – m<sup>3</sup></i>	Irtokuutiolavuus
<i>E</i>	Energiatiheyden nimike, $\left[\frac{MWh}{i-m^3}\right]^3$
<i>M</i>	Kokonaiskosteus saapumistilassa, <i>M<sub>ar</sub></i> [ <i>M – %</i> , <i>märkämpainosta</i> ] <sup>3</sup>
<i>MJ</i>	Megajoule
<i>q<sub>p,net,d</sub></i>	Tehollinen lämpöarvo vakiopaineessa kuiva-aineessa $\left[\frac{MJ}{kg}\right]$
<i>q<sub>v,gr,d</sub></i>	Kalorimetrinen lämpöarvo vakiotilavuudessa, kuiva-aineessa $\left[\frac{MJ}{kg}\right]$
<i>Q</i>	Tehollisen lämpöarvon nimike vakiopaineessa, saapumistilassa
<i>m<sup>3</sup></i>	Kiintokuutiometri
<i>G</i>	Giga = 1 000 000 000
<i>M</i>	Mega = 1 000 000

## 1 JOHDANTO

Energiaomavaraisuus on käsitteenä vaikea sen laajuuden ja monimuotoisuuden vuoksi. Voitaisiin kuitenkin sanoa, että omavaraisuus merkitsee riippumattomuutta sekä pyrkimystä toisvaraisuuden vähentämiseen (Omavaraopisto 2019). Eli energiaomavaraisuudella tarkoitetaan sitä, että alue pystyy itse tuottamaan tarvitsemansa energian.

Opinnäytetyön tarkoituksena ja samalla tutkimuskysymyksenä on selvittää, onko entinen Kangaslammin kunnan alue energiaomavarainen, kun energiaomavaraisuutta tutkaillaan metsä- ja peltoenergioiden osalta. Tavoitteena on tuottaa kattava teoriapaketti aiheesta sekä fysikaalisia laskelmia mahdollisista saatavista energiatehoista. Edellä mainittujen avulla pyritään vastaamaan mahdollisimman aukottomasti tutkimuskysymykseemme. Saamamme tiedon avulla pyrimme myös tarkastelemaan, kuinka voitaisiin edistää kyseisen kylän siirtymistä kohti hiilineutraalimpaa yhteiskuntaa, ja millaisilla toimenpiteillä edistetään uusiutuvan energian sekä hajautettujen energijärjestelmien käyttöönottoa. Tällä tavoin opinnäytetyössä on tavoitteena alueen energiaomavaraisuuden ja huoltovarmuuden parantaminen.

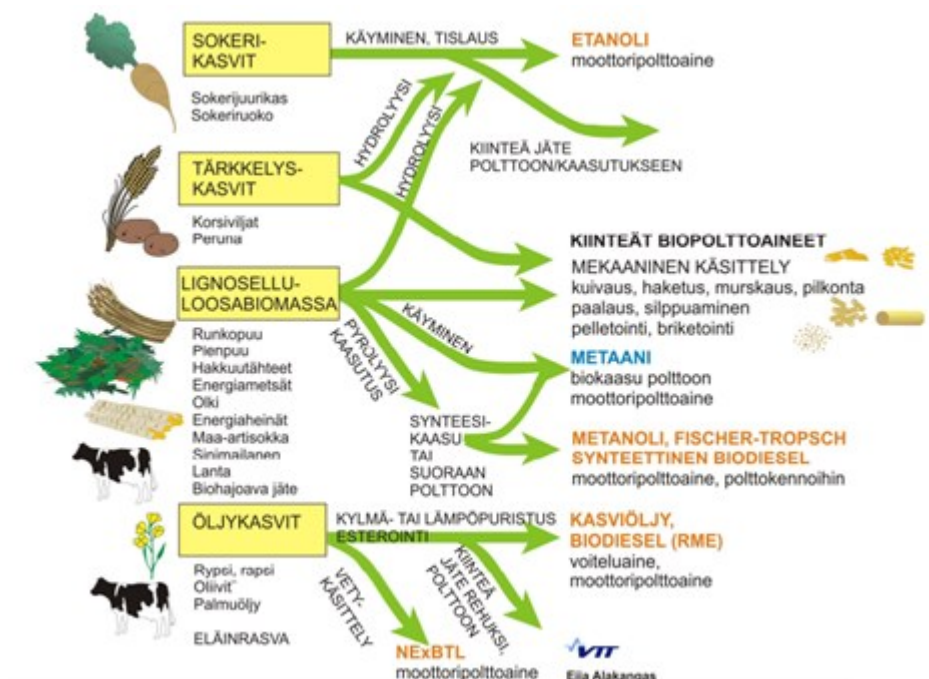
Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Mansikka ry. Kyseinen kehittämissyhistys on perustettu vuonna 1997, ja sen toiminta-alueeseen kuuluvat Vesannon, Tervon, Rautalammin ja Leppävuiran kunnat sekä Suonenjoen ja Varkauden kaupungit. Mansikka ry hallinnoi Leader-toimintaansa alueellaan rahoittamalla yhteisöille ja yrityksille kehittämistoimenpiteitä. Heidän Leader-rahoitus koostuu alueen kuntien rahoituksesta (20 %), valtion rahoituksesta (38 %) sekä EU:n maaseuturahaston rahoituksesta (42 %). (Mansikka ry 2022.) Opinnäytetyön työnteko jaettiin siten, että Niina vastasi johdannosta ja peltobiomassoista, ja Mika Kangaslammin teoriasta sekä metsäenergiasta.

Mansikka ry rahoittaa kahden vuoden ajan hankkeen: EKOTEKOja ympäristön ja ilmaston parantamiseksi – Kohti hiilineutraalia Pohjois-Savoja Mansikan alueella. EKOTEKOja-hankkeen tavoitteita ovat: Vähentää alueen ilmastopäästöjä lisäämällä uusiutuvan energian ratkaisujen käyttöönottoa, kasvattaa alueen energiaomavaraisuutta, toteuttaa puolueetonta neuvontaa uusiutuvan energian suunnittelusta ja käyttöönotosta, edistää ilmastoa huomioivien elintapojen lisäämistä, energiaratkaisuja ja lähiruokamalleja, levittää hyviä käytänteitä ja valintoja toimijoiden ryhmissä sekä asukkaille, tuoda maaseudun menestystekijät esiin sekä lisätä maaseudun elinvoimaisuutta, vetovoimaisuutta ja pitovoimaa viestimällä alueen hiilitaseesta sekä ilmastotoimenpiteistä. (Mansikka ry 2022.)

## 2 PELLOSTA SAATAVA ENERGIA

### 2.1 Peltobiomassa

Peltobiomassalla tarkoitetaan viljatuotannon sivutuotteita (esimerkiksi olkea) sekä pelloilla tai turvetuotannosta vapautuneilla alueilla kasvatettuja energiakasveja (esimerkiksi öljykasvit ja ruokohelpi), joita voidaan käyttää itsessään polttoaineena tai joista voidaan jalostaa nestemäisiä tai kiinteitä polttoaineita. Edellä mainittujen lisäksi myös järviruo'on katsotaan kuuluvan ominaisuuksiensa puolesta peltobiomassoihin. (Motiva 2020.) Alla olevassa kuvassa 1 on esitelty karkeaa jakoa siitä, mitä eri energiamuotoja eri kasvilajeista voidaan saada.



KUVA 1. Eri biomassoista saatavat energiamuodot (Eija Alakangas, 2016)

Peltobioenergiaa on arvosteltu siitä, että tällä hetkellä maailman ruoan tarve kasvaa maailman väkiluvun kasvun myötä, jolloin peltoalaa tarvitaan enenemissä määrin ruoan tuotantoon. Tämän lisäksi peltobioenergian tuotantopotentiali riippuu myös ilmastonmuutoksen toteutumisesta, fossiilisten energioiden hinnoista sekä poliittisesta tahtotilasta ja kannustimista (Lötjönen & Pahkala 2015, 9, 28.) Opinnäytetyötä tehdessä ollaan peltobiomassojen osalta pyritty keskittymään nykyiseen tilanteeseen, eli mitä pystymme saamaan nykyisenkaltaisella peltokaavoituksella. Esimerkiksi peltokasvien sivutuotteita ei pystytä jalostamaan ihmisten ravinnoksi, ja niiden käyttö eläinten rehuna on rajallista, joten tällaisia bio-osuuksia voidaan jalostaa energiantuotannossa. Peltobiomassoja hyödynnettäessä on kuitenkin muistettava, että noin 50 % kasvijätteestä jää vuosittain pelloille multa- vuutta, ja siten maan kasvukuntoa parantamaan (Lötjönen & Pahkala 2015, 3, 29).

Maatalousperäisistä raaka-aineista tuotetun uusiutuvan energian osuus uusiutuvasta energiasta on ainakin vielä hyvin pieni, koska maatalouden päätehtävä on ruoan tuottaminen. Tästä syystä unohtuukin helposti, että ruoantuotannosta syntyviä sivuvirtoja voitaisiin hyödyntää energian tuottamisessa. Lannan ja nurmikasvien yhteiskäyttöä biokaasun raaka-aineena on tutkittu paljon, mutta



edelleen laitosten heikko kannattavuus on vaikeuttanut säilörehun ja viljelyn nurmen käyttöä bio-kaasutuksessa. Myös pitkät välimatkat voidaan kokea kannattavuutta heikentävinä seikkoina. Maatalousbiomassojen prosesseista pitäisi pyrkiä kehittämään resurssitehokkaita, ympäristöhyötyjä tuottavia sekä kannattavia arvoketjuja. Tavoitteena onkin, että maaseutu saavuttaisi energiaomavaraisuuden, ja voisivat tuottaa energiaa myös enenemissä määrin myyntiin. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020, 15-16.)

Tulevaisuudessa tulisi panostaa nykyistä enemmän korkeampaan satotasoon. Suomessa säilörehunurmen keskimääräinen satotaso on noin 6 054 kg ka/ha, vaikka pelloista pystyttäisiin saamaan merkittävästi suurempia nurmisatoja. Jopa yli 10 000 kg ka/ha keskisadon saavuttaminen on mahdollista viljelykiertoa nopeuttamalla sekä sillä, että varmistetaan täydennyskylvöillä kasvustotiheys. Lannoitusta miettiessä tulee ottaa huomioon maan kasvukunto. Myös syväjuuriset kasvit edesauttavat tasapainoista lannoitusta. (ProAgria Keski-Pohjanmaa 2016, 5.)

### 2.1.1 Viljeltävät energialajikkeet

Peltobiomassoiksi voidaan viljellä mm. ruokohelpiä, rypsiä, hamppua sekä nopeakasvuisia puuvartisia kasveja kuten energiapaju (Bioenergianeuvoja 2022). Samoin viljan (ruis, kaura, ohra ja vehnä) jyvät ja oljet sopivat kiinteiksi polttoaineiksi. Olkea voidaan käyttää lämmön tuotossa myös maaseudun lämpökeskuksissa ja pientaloissa. Olkea poltettaessa tulee kuitenkin käytössä olla oljen polttoon suunniteltu kattila. (Alakangas, Hurskainen, Laatikainen-Luntama, & Korhonen 2016, 131.)

Energiatuottoa ajatellen ruokohelpi on Suomen oloissa satoisin kasvi, ja se tuottaa satoa noin 10-12 vuoden ajan. Ruokohelven sato kannattaa korjata keväällä ns. kuloheinänä, jolloin sen ominaisuudet kiinteänä polttoaineena ovat parhaimmillaan (erityisesti tuhkan sulamiskäyttäytyminen), sillä sen palamistekniset ominaisuudet ovat paremmat kuin syyskorjatulla. Ruokohelven ollessa polttoaineena, saa sen energiaosuus olla noin 10 % laitoksen kiinteästä polttoaineesta. (Laine 2011, 5.)

Energiapaju soveltuu hyvin poltettavaksi energialähteeksi, mutta sen tuotannon kannalta suurin ongelma on sen kannattavuudessa. Energiapajun kasvuston perustaminen on hintavaa ja viljelyyn joutuu sitoutumaan jopa 20 vuoden ajaksi. Korjuu tulisi tehdä talvella, jotta energiapajun lehdet eivät tulisi mukaan polttoaineen laatua heikentämään. Talvien lyheneminen ja roudattomuus vaikeuttavat energiapajun korjausta, sillä raskaiden korjuukoneiden on vaikeaa pysyä pellolla ilman routaa. (Lötjönen & Pahkala 2015, 39.)

## 2.2 Tapoja tuottaa peltobiomassoista energiaa

### 2.2.1 Polttaminen ja kaasutus

Viljan jyviä ja olkia voidaan polttaa kiinteinä polttoaineina muun muassa maaseudun lämpökeskuksissa. Tärkeitä polttoaineen ominaisuuksia, joita niistä yleensä määritetään, ovat alkuainekoostumus, kosteus, tekninen analyysi, lämpöarvo sekä tuhkan sulamiskäyttäytyminen. Usein tarvitaan myös tietoja polttoaineen palakoosta, tiheydestä ja muista käsittelyteknisistä ominaisuuksista. (Alakangas, ym. 2016, 23, 135.) Edellä mainitut polttoaineiden ominaisuudet ovat erityisen tärkeitä polttoaineen laadun sekä polttoteknisten syiden arvioinnissa.

Suoranaiseen energian käyttöön viljeltyjen energialajikkeiden lisäksi on hyvä muistaa myös erilaiset maatalouden sivutuotteet. Esimerkiksi oljen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on noin 17,4 MJ/kg, mikä on samaa suuruusluokkaa kuin puupelleteillä. Oljen käyttöä energialähteenä heikentää kuitenkin sen pieni energiatiheys sekä suuri tuhkapitoisuus. Lisäksi oljen tuhkalla on alhainen sulamislämpötila, mikä tekee sen poltosta ongelmallisempaa. Kuutio irtto-olkea painaa n. 30-40 kg. Oljen varastointi vaatii suuren irtotilavuutensa vuoksi paljon tilaa, mikä nostaa varastointi- ja kuljetuskustannuksia. Oljen tiheyttä voidaan kasvattaa puristamalla niistä pellettejä tai brikettejä, jolloin sen käsittely helpottuu. (Motiva 2020; Alakangas, ym. 2016, 131.)

Olkea voidaan polttaa muun muassa puun seassa leijupetikattiloissa, mutta sen osuus polttoaineseoksessa voi olla maksimissaan noin 5 %. Oljen polttoaineominaisuuksiin vaikuttaa se, minkä viljalajin oljet ovat kyseessä. Vehnän olki soveltuu parhaiten polttoon, kun taas kauran olki on tuhkan sulamiskäyttäytymisen vuoksi hankala polttoaine. Olkisatoa saadaan hehtaaria kohti noin 2000 kg, ja oljen kuiva-aine energiasisältö on keskimäärin 4,5 MWh/tonni. Rypsin keskisadot vaihtelevat noin 1200-1700 kg/ha välillä. (Laine 2011, 8.) Puitaessa oljen kosteus saattaa olla jopa 35-60 %, joten olkea tarvitaan yleisesti ottaen kuivata ennen polttoa. Lisäksi Suomen kosteat ja epävakaut syyssät vaikeuttavat osaltaan oljen keräämistä energiakäyttöön. (Lötjönen & Pahkala 2015, 36.) Oljen tuhkapitoisuutta voidaan alentaa sillä, että se likoaisi sateessa pellon pinnalla; niin kutsutulla harmaalla oljella on alhaisemmat kalsium-, kalium- ja klooripitoisuudet sateen liuottamisen seurauksena. Lisäksi harmaan oljen lämpöarvo on vastapuitua olkea korkeampi alemman tuhkapitoisuuden ansiosta. Tulee kuitenkin muistaa Suomen vaihtelevat sääolot, joiden vuoksi olkien kerääminen pelloilta käytännössä tapahtuu silloin, kun sää sen suo. Oljen hyödyntäminen energiantuotannossa ei vie resursseja pois rehun- ja ruoantuotannosta. Olkien kerääminen pois pelloilta ei heikennä peltomaan kuntoa, kunhan poistoa ei tehdä joka vuosi, ja pidetään huoli, ettei peltoja tiivistetä. (Laurila & Saarinen 2014, 2, 13.)

Viljan jyvien kuiva-ainekilon lämpöarvo lähentelee samaa kuin polttopuulla tai oljella – erityisesti kauran jyvät palavat samaan tapaan kuin oljet, koska niissä on paljon kuorta. Esimerkiksi ohran jyvän tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa on 16,2 MJ/kg, ja kauran akanan tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa on 17,4–17,8 MJ/kg. (Alakangas, ym. 2016, 135.)

## 2.2.2 Mädättämällä biokaasuksi

Biokaasu on metaanikaasua, joka on polttoaineeksi soveltuva. Sitä voidaan saada muun muassa mätänevistä eläin- ja kasvipörsäisistä jätteistä. Biokaasu on kaasuseos, jota syntyy, kun orgaaninen jäte mätänee anaerobisissa eli hapettomissa olosuhteissa (Biovoima 2019).

Esikäsittelyllä voidaan lisätä peltobiomassojen hajoamista. Tällaisia tapoja ovat muun muassa erilaiset fysikaaliset murskaamiset ja silppuamiset. Esikäsittelytapaa valittaessa on kuitenkin hyvä muistaa valittavan esikäsittelyn tarkoituksenmukaisuus, sillä runsaasti energiaa kuluttava esikäsittely voi kääntää laitoksen energiataseen negatiiviseksi. (Kymäläinen & Pakarinen 2015, 48)

Biokaasun muodostuminen voidaan jakaa neljään eri osaan, joista jokaisessa toimii eri pieneliöryhmät. Nämä neljä vaihetta ovat hydrolyysi, asidogeneesi, asetogeneesi sekä metanogeneesi. Hajoaminen alkaa hydrolyysillä, eli liukoistumisessa, jossa suuret orgaaniset molekyylit, kuten valkuaisaineet, rasvat ja hiilihydraatit, pilkkoutuvat ja liukenevat veteen yksinkertaisempina yhdisteinä, kuten sokereina sekä amino- ja rasvahappoina. Liukoistuminen tapahtuu pieneliöiden erittämien solun ulkoisten entsyymien avulla. Asidogeenin aikana muodostuu liuenneista aineista yksinkertaisempia rasvahappoja, jotka edelleen hajoavat hiilidioksidiksi ja etikkahapoksi. Etikkahaposta ja reaktioiden välituotteina syntyvistä hiilidioksidista ja vedystä syntyy metaania. (Motiva 2013, 4.)

Pelkkien energiakasvien mädätyksessä haasteeksi voi osoittautua hivenaineiden, kuten nikkelin ja seleenin, puute. Paljon ligniiniä ja kuitua sisältävät ainekset, kuten olki, sopivat huonosti mädätykseen. Runsaasti rasvaa sisältävät ainekset tuottavat korkeampaa metaanipitoisuutta, joka puolestaan edesauttaa saavuttamaan korkeamman lämpöarvon kaasulle. Biokaasulaitos voi olla joko märkä- tai kuivamädätyksellä toimiva. Se, kumpaa nimitystä käytetään, johtuu mädätettävän kuiva-ainepitoisuudesta; märkämädätyksessä kuiva-ainepitoisuus on 15 % tai alle, kun taas kuivamädätyksessä vastaava prosenttiosuus on mielellään yli 30 %. (Motiva 2013. 7-17)

Biokaasusta saatavat arvokkaimmat lopputuotteet ovat lämpö, sähkö ja liikenteessä käytettävä biometaanii. Biokaasua voidaan hyödyntää jalostamattomana omaan lämmöntuotantoon, tai jatkojalostamalla korvata oman tilan sähköntarvetta. Biokaasulaitoksen lopputuotteena syntyvästä mädätteestä voidaan tuottaa mm. lannoitevalmisteita. Biokaasun valttina on, että se ei ole riippuvainen sääoloista, vaan sitä voidaan hyödyntää silloinkin, kun muu energiantuotanto on vähäisempää. Bioenergian tuotantoa tarkastellessa tulisi ottaa huomioon myös pientuotannon hajautetun energiantuotannon edistäminen, sillä se palvelee uusiutuvaan energiaan siirtyviä maatiloja, ja samalla pienentää niiden energiankulutusta ja ulkopuolisen energian käyttöä. Lisäksi myös pientuotannolla on myönteisiä ympäristö- ja ilmastovaikutuksia. Toisaalta tulevaisuudessa tilojen koot kasvavat ja sijainnit keskittyvät, jolloin rehu- ja lantamäärätkin keskittyvät enemmän tietyille alueille. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2020, 16-52.)

Jos nurmea alettaisiin hyödyntää energiantuotannossa, se tarkoittaisi nurmien nykyistä tehokkaampaa korjaamista. Nykyään useimmiten kolmas niitto jää peltoon, mutta tulevaisuudessa sekin voitaisiin korjata. Tällöin maahan jäisi nykyistä vähemmän tähteitä, mikä puolestaan voisi pienentää hiilivarastoja. Toisaalta biokaasuntuotannosta lopputuotteena syntyvä mädäte voitaisiin palauttaa maa-

han, mikä kompensoisi hiilen hävikkiä. Lisäksi bioenergiakapasiteetin nosto voisi nostaa myös nurmialan tarvetta. Tällainen tilanne voisi johtaa sellaiseen kehitykseen, jossa nurmi korvaisi yksivuotisia viljelykasveja. Tulee kuitenkin myös muistaa, että nurmiviljelmässä maaperän hiilitase on yksivuotisia kasveja parempi, jolloin nurmen lisääntyvä viljely voisi parantaisi peltoalan käyttöä sekä viljelykiertoja. Näin bioenergian viljely voisi jopa parantaa viljelymaiden hiilitasetta. Biokaasun tuotanto ei siis olisi maaperälle välttämättä huono asia, mutta kun tilannetta katsellaan päästövähennysten näkökulmasta (kun nurmi on ainoa raaka-aine prosessissa), on tilanne päinvastainen. Uutena direktiivinä EU on laatinut REDII:n, jossa päästövähennysvaatimukset ovat tiukat erityisesti sähkön ja lämmöntuotannon kannalta. REDII vaatii, että vuoden 2021 alusta tai myöhemmin käynnistyville laitoksille päästövähennysvaatimus sähkölle, lämmölle ja jäähdytykselle on 70 % ja 2026 tai sen jälkeen käynnistyville laitoksille 80 %. (Joensuu, Luostarinen, Pulkkinen, Pyykkönen, Rasi, Regina, Tampio, Timonen, Virkajärvi 2019, 5-27.)

### 2.2.3 Etanoli ja biodiesel

Sokeri- ja tärkkelyspitoisista kasveista (esimerkiksi peruna) voidaan tuottaa alkoholipohjaisia polttoaineita, kuten bioetanolia. Bioetanolin lisäksi voidaan tuottaa esimerkiksi rypsiä biodieseliä esteröintimenetelmällä (RME, rypsimetyyliesteri). (Motiva 2020.)

Bioetanolia tuotetaan hapettomissa olosuhteissa entsyymien hiivojen hajottaessa orgaanista ainesta. Yleisimpiä raaka-aineita ovat maissin ja tärkkelyspitoisten viljojen jyvät sekä sokeripitoiset sokerijuurikkaat ja – ruo'ot. Bioetanolia tuotettaessa sivutuotteena syntyy mäskiä, jota voidaan hyödyntää eläinten rehuna tai mädättää, jolloin sen sisältämä energia saadaan jalostettua biokaasuksi. Tässä tapauksessa ravinteet jäävät mädätysjäännökseen, jota voidaan hyödyntää lannoitteena. (Bioste 2014.)

Biodieselistä puhuttaessa tarkoitetaan yleensä rasvahappojen etyyli- tai metyyliestereistä koostuvaa polttonestettä. Biodieseliä tuotetaan esteröimällä eläin- tai kasvirasvoja alkoholin avulla. Kustannussyistä johtuen alkoholi on yleensä metanoli, mutta myös etanolia ja muita lyhytketjuisia alkoholeja käytetään. Valtaosa biodieselistä tuotetaan rypsi-, rapsi-, palmu-, auringonkukka-, tai soijaöljystä. Jonkin verran biodieseliä tuotetaan myös paistorasvoista ja muista eläinrasvoista. Biodieselin tuotannossa syntyy sivutuotteena niin kutsuttu puristuskakku, joka syntyy, kun öljy erotetaan raaka-aineesta puristamalla. Useimmiten puristuskakku syntyy vähintään saman verran, kuin mitä öljyä saadaan irti. Puristuskakku on valkuaispitoista, ja sopii siksi hyvin rehukäyttöön. Lisäksi sen voi myös mädättää. (Bioste 2014.)

## 2.3 Peltoenergian tukipolitiikka

Maatalouden tuotannolle asetetaan jatkuvasti uusia vaatimuksia, joiden vuoksi on tarpeen ottaa käyttöön uusia, nykyaikaisia tuotantotapoja sekä teknologioita. Maatiloilla on mahdollisuus saada tukea tuotannollisiin investointeihin. Tukea voidaan myöntää joko lainaan liittyvänä korkotukena, avustuksena, valtiotakauksena tai näiden yhdistelmänä. On kuitenkin hyvä muistaa, että investointituen myöntämiselle on asetettu tiettyjä edellytyksiä, jotka liittyvät muun muassa tuettavan toiminnan laatuun. Kun tukiedellytykset täyttyvät, voi tukea saada esimerkiksi uusiutuvan energian tuotantoa edistäviin investointeihin ja tilojen energiakäytön tehostamiseen. (Maa- ja metsätalousministeriö 2022.)

Hankkeissa, jotka saavat julkista tukea, on usein omarahoitusosuus, joka vaihtelee 15-65 %:n välillä riippuen ohjelman luonteesta. Jo suunnitteluvaiheessa kannattaa miettiä, millaista rahoitusta hankkeelle olisi mahdollista saada, ja asiasta kannattaakin keskustella eri rahoitustahojen kanssa. Bioenergiահankkeita voivat rahoittaa julkisen tuen lisäksi myös Maaseutuviraston yritystoiminnan tuki, maa- ja metsätalousministeriö, Maatilatalouden kehittämisrahasto (MAKERA) sekä Business Finland kehitysohjelmiensa kautta. Rahoittajaa lähestyessä on hyvä olla jo olemassa alustava hankesuunnitelman runko, johon rahoittajalta voidaan pyytää kommentteja. (Motiva 2020.)

Tukea haettaessa on muistettava, että ei aloita rakentamisinvestointia, allekirjoita esimerkiksi urakkasopimusta tai tee muita vastaavia toimenpiteitä ennen kuin on saanut ELY-keskukselta päätöksen. Investointitukea ei myönnetä sellaisille toimenpiteille, joiden toteuttaminen on ehditty aloittaa ennen hakemuksen vireille tuloa. (Ruokavirasto 2021.)

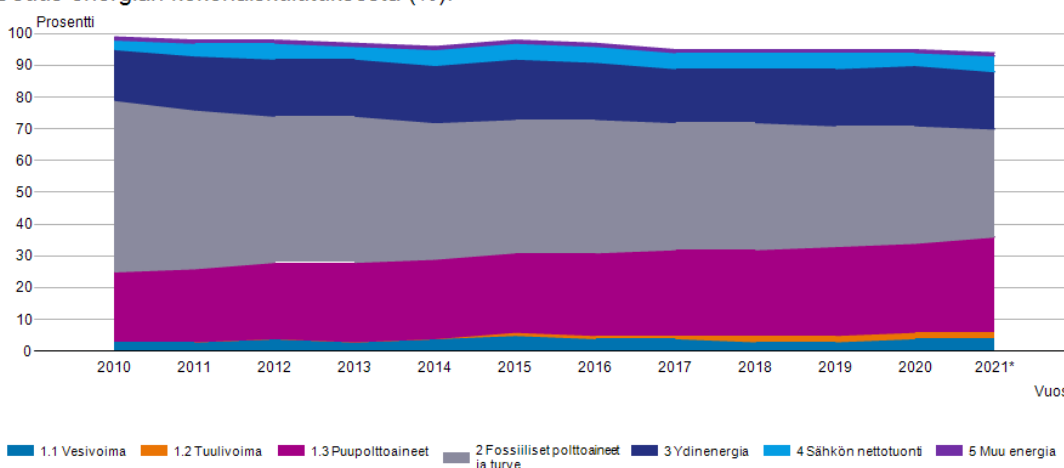
Toukokuussa 2021 valtio nosti maatilojen biokaasulaitosten investointitukea 40 %:sta 50 %:iin. Tukea haluttiin korottaa, jotta se parantaa biokaasuinvestointien kannattavuutta, minkä puolestaan toivotaan lisäävän biokaasun tuotantoa. Biokaasun edistäminen tukee sekä siirtymää pois fossiilisista raaka-aineista että maatalouden kannattavuutta. (Maaseudun tulevaisuus 2021.) Maatilat ovat voineet ottaa osaa erilaisiin hankkeisiin, joista on ollut mahdollista hakea vähäisiä investointeja. Maatilojen talouden parantamista energiantuotannolla hidastaa kuitenkin se, että korkeampaa investointitukea (40 %) ei myönnetä laitokselle, joka myisi ylijäämä energiaa tilalta ulos. Käytännössä tämä tarkoittaa alhaisempaa tukitasoa (30 %), mikä puolestaan ajaa maatiloja mitoittamaan CHP-tuotantoa oman sähköntarpeen mukaan, minkä vuoksi lämpöä muodostuu enemmän kuin tarvitaan, ja se lauhdutetaan hukkana ilmaan. Jos tukipolitiikkaa muutettaisiin, jotta tila voisi maksimoida oman energiantuotantonsa ja myydä ylimääräisen sähkön ja lämmön, energiaa saataisiin enemmän niin tuottavan tilan kuin yhteiskunnankin käyttöön. Maatilojen innostusta biokaasun tuotantoon vähentää myös se, että tilakoot ovat nykYTEKNIKOILLA harvoin kannattavia. "Maatalouden energiatehokkuutta ei selkeästi tueta eikä tilojen energiankulutusta tunneta riittävän hyvin." (Aakkula, Jyrki, Heikkinen, Jaakko, Jallinoja, Marja, Lehtonen, Heikki, Luostarinen, Sari, Maanavilja, Liisa, Niemi, Jyrki, Rantala, Jukka, Saarion, Sanna & Soini, Katri 2020, 36-37.)

### 3 METSÄENERGIA

#### 3.1 Metsäenergian kulutus suomessa

Suomessa uudistuvissa polttoaineissa metsäenergia on tärkein, ja sitä käytetään pääsääntöisesti sähkön ja lämmöntuotantoon. Suomessa tuotettiin puupolttoaineilla noin neljännes kokonaisenergiasta, kuten kuvasta 2 voidaan todeta. Puupolttoaineiden osuus vuodesta 2012 lähtien on suurempi kuin hiilen, öljyn tai maakaasun. Metsähakkeen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa on viimeisen kymmenen vuoden aikana (2012-2021) ollut keskimäärin noin 7,7 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, joka vastaa noin 15 TWh vuodessa. Viime vuosina yli puolet metsähakkeesta on haketettu pienpuusta eli pieniläpimittaisista rangoista, joita korjataan mm. nuorten metsien hoitotöiden yhteydessä. Seuraavaksi eniten käytetään hakkuutähteitä. Metsähakkeen käyttö Suomessa perustuu erityisesti teolliseen puunjalostukseen kelpaamattomiin rungon osiin. (Maa- ja metsätalousministeriö, julkaisuaika tuntematon.)

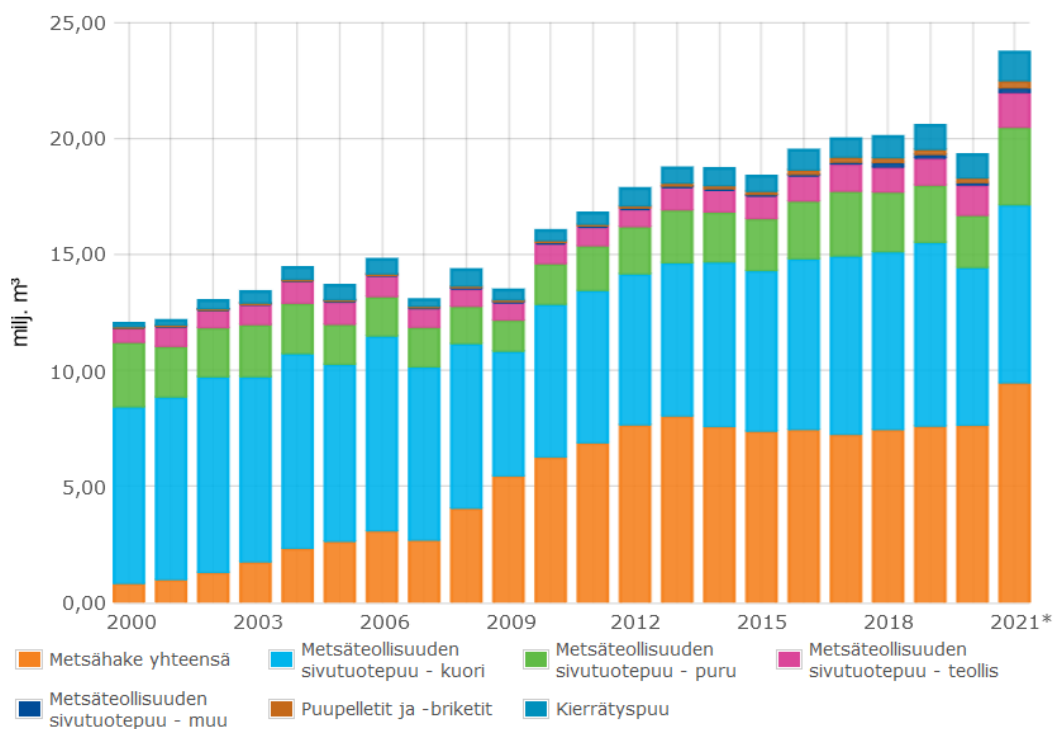
Energian kokonaiskulutus energialähteittäin (kaikki luokat) muuttujina Energialähde ja Vuosi. Osuus energian kokonaiskulutuksesta (%).



KUVA 2. Energian kokonaiskulutus (Tilastokeskus 2022)

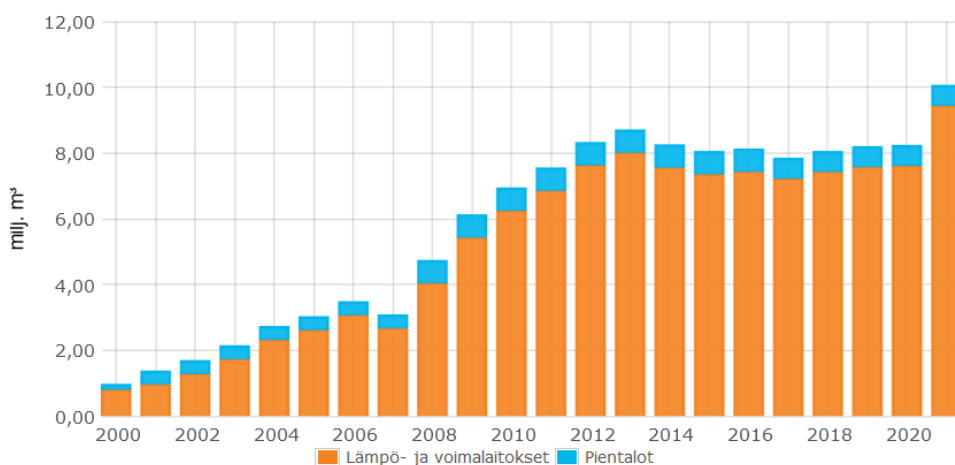
Metsästä saatavan energian merkitys kasvaa, sillä se lisää huoltovarmuutta ja omavaraisuutta kotimaassa. Metsäenergia toimii korvaajana myös fossiilisille polttoaineille sekä uudistuva metsä sitoo hiilidioksidia ilmasta tehokkaasti, joten metsät toimivat tehokkaasti hiilinieluna. (Metsäkeskus 2022.)

Metsäenergiantuotannossa hyödynnetään metsähaketta, jota valmistetaan harvennuksilta saatavasta pienpuusta ja uudistuskypsän metsän päätehakkuan latvusmassasta tai hakkuutähteistä. Metsäenergiasta noin puolet koostuu karsitusta rangasta sekä pienpuusta oksineen. Toinen puolisko koostuu pääsääntöisesti latvuksista, oksista ja hakkuutähteistä. Pieni osa koostuu myös pystyyn kuivuneista puista tai muuten vioittuneista puista, jotka eivät kelpaa metsäteollisuuden raaka-aineeksi. (Metsäkeskus 2022.) Kuvassa 3 metsäteollisuuden sivuvirroista saatavat kiinteiden puupolttoaineiden osuudet ovat pysyneet lähes vakiona vuosien ajan. Metsähakkeen osuus kasvaa lämpö- ja sähkövoimalaitoksissa.



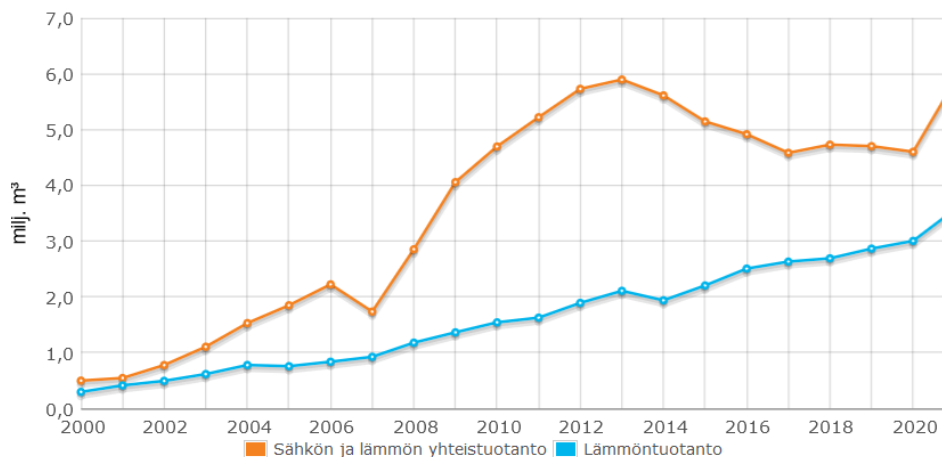
KUVA 3. Puun energiakäyttö (Luonnonvarakeskus 2021)

Kuten kuvasta 4 nähdään metsähakkeen kokonaiskäyttö vuosina 2000-2013 on kasvanut miljoonasta kuutiosta 8,5 miljoonaan kuution, jonka jälkeen metsähakkeen kokonaiskäytön määrä laski hieman noin 8 miljoonaan kuution. Laskun jälkeen metsähaketta on käytetty tasaisesti joka vuosi noin 8 miljoonaa kuutiota vuodesta 2014 aina vuoteen 2020 asti. Vuoden 2020 jälkeen on havaittavissa kokonaiskäytön selkeä kasvu, joka liittyy suomen energiaomavaraisuuteen. Voimalaitosten osuus metsähakkeen käytöstä on pysynyt lähes vakiona 90 prosentissa ja pientalojen metsähakkeen osuus on noin 10 prosenttia. (Luonnonvarakeskus 2020.)



KUVA 4. Puun energiakäyttö, lämpövoimalaitoksissa ja pientaloissa (Luonnonvarakeskus 2020)

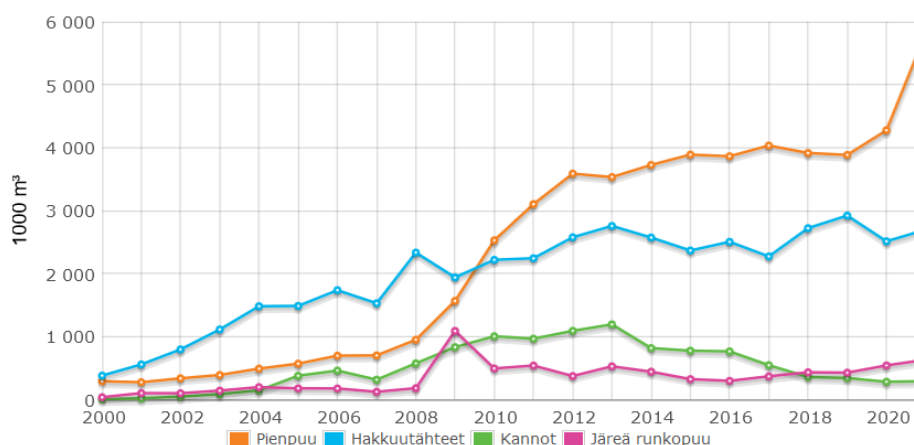
Kuvassa 5 on kuvattu metsähakkeen käyttö lämpö- ja voimalaitostyypeittäin. Yhteisvoimalaitoksissa käytetään enemmän metsähaketta kuin voimalaitoksissa, joissa tuotetaan ainoastaan lämpöä. Lämpövoimalaitosten metsähakkeen käyttö on kasvanut tasaisesti ylöspäin. (Luonnonvarakeskus 2020.) Oman arvioni mukaan tähän vaikuttavat Suomen poliittiset päätökset, kuten turvetuotannon vähentäminen sekä Euroopassa vallitseva energiakriisi.



KUVA 5. Puun energiakäyttö, yhteistuotantolaitoksissa (Luonnonvarakeskus 2020)

Kuvasta 6 voidaan havainnoida metsähakkeen käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa raaka-aineittain. Luonnonvarakeskuksen tilastojen mukaan metsähakkeen käyttö on lisääntynyt viimeisen vuoden aikana. Hakkuutähteiden käyttö voimalaitoksissa on pysynyt vakaana mutta pienpuun raaka-aineen käyttö voimalaitoksissa on lisääntynyt voimakkaasti. (Luonnonvarakeskus 2020.)

Metsähaketta valmistettiin eniten pienpuusta, jota kului tähän tarkoitukseen 5,8 miljoonaa kuutiometriä. Tämä oli 36 prosenttia enemmän kuin vuotta aiemmin. Hakkuutähteiden käyttö kasvoi seitsemällä prosentilla 2,7 miljoonaan kuutiometriin. Kannoista tehtyä metsähaketta poltettiin 0,3 miljoonaa kuutiometriä. Järeää, lähinnä lahovikaista ja pystykuivaa runkopuuta paloi 0,6 miljoonaa kuutiometriä, 17 prosenttia enemmän kuin vuonna 2020. (Luonnonvarakeskus 2020.)



KUVA 6. Puun energiakäyttö, raaka-aineittain lämpö- ja voimalaitoksissa (Luonnonvarakeskus 2020)



Suomessa metsähaketermiä käytetään yleisterminä, joka tarkoittaa rankapuun, kokopuun ja hakkuutähteiden haketta tai mursketta. Puuhake on tietyinkokoisiksi palasiksi haketettu puubiomassa, joka on valmistettu mekaanisesti leikkaavilla terillä. Puuaineksen leikkaantuessaan hakkeesta tulee pääsääntöisesti suorakaiteen muotoisia palasia. Metsähakkeen raaka-aineet ovat jaoteltu ryhmiin esimerkiksi kokopuu on kaadettu, ja karsimaton puu, joka sisältää rungon kuorineen sekä oksat, neulas ja lehdet mutta ei sisällä juuristoa. Latvusmassa ja hakkuutähde ovat puolestaan puuhakkuun sivutuotteita, joihin kuuluvat hakkuun yhteydessä syntyvä ja metsään jäävä puuaines, kuten oksat ja latvat sekä hylkypölkyt. Lisäksi harvennuspuu on nimensä mukaisesti poistettava osa metsikön puustosta. (Puupolttoaineiden laatuohje VTT-M-07608-13-päivitys 2020.)

Metsähakkeen ja murskeen yleisin mittaus tapa on hakekonttimittaus. Pienpuu tai hakkuutähde haketetaan kuorma-auton hakekonttiin, tällöin saadaan hakkeelle mitattua kontissa haketilavuus. Haketilavuus muutetaan kertoimen avulla irtohakekuutioista kiintokuutioiksi. (Energiapuun mittaus 2014.) Hake on kooltaan 16mm- 100mm, joka on paloitettu mekaanisesti leikkaavilla terillä. (Puupolttoaineiden laatuohje VTT-M-07608-13-päivitys 2020.)

### 3.2 Metsähakkeen laatuluokituksen määrittely

Laadunvarmistuksella pyritään tuottamaan luottamus siihen, että laatu vastaa pysyvästi sovittuja asiakasvaatimuksia, jotka on yleensä kirjattu toimitussopimukseen tai toimittajan antamaan tuoteselosteeseen. Sovitut laatuvaatimukset kattavat polttoaineen laadun lisäksi myös käytännön toimivuuden ja polttoaineen täsmällisen saatavuuden. Laadunvarmistukseen sovelletaan laadunvarmistusstandardien osia 1 tai 4 sekä ISO 9000-järjestelmää. Laadunvarmistuksen tehtävänä on varmistaa, että toimitusketju on jäljitettävissä, polttoaineen laatuun vaikuttavia vaatimuksia valvotaan ja loppukäyttäjä voi luottaa polttoaineen laatuun. Erityisesti huomioon otettavia tekijöitä laadunvarmistuksessa on sääolosuhteiden vaikutus tuotteeseen. Käytännössä puupolttoaineet yritetään suojata niin hyvin kuin mahdollista varastoinnin sekä kuljetuksen aikana. Puupolttoaineen siirtelyyn sekä kuljetuksen aikaan on kiinnitettävä huomiota, ettei polttoaine tiivisty tai pölyynny kuljetuksen aikana. Siirtelykertojen määrä lisää riskiä, että polttoaineen joukkoon pääsee vieraita esineitä, jotka aiheuttavat huolto- ja korjauskustannuksia etenkin voimalaitoksissa. Vähäinen siirtely takaa myös puupolttoaineen laadun tasaisuuden niin kosteuden kuin raaka-aineen puumassan suhteen. Seuraavia kauppanimikkeitä käytetään käytännössä ostajan ja myyjän välisessä kaupankäynnissä, kun keskustellaan hakkeen toimittamisesta tai hankkimisesta. Kokopuu sisältää puun rungon, oksat ja latvan, mutta ei kantoa eikä juuria. Ranka on karsitturanka runkopuu, joka ei sisällä oksia tai latvaa. Hakkuutähde sisältää latvukset ja oksat, jotka on katkaistu runkopuusta sekä hakkuualueille jäävä pienikokoinen puu. (Puupolttoaineiden laatuohje VTT-M-07608-13-päivitys 2020.)

## 4 VARKAUDEN KAUPUNGIN KANGASLAMMIN ALUE

### 4.1 Kangaslampi

Kangaslampi oli itsenäinen kunta vuoteen 2004. Vuonna 2005 kunta siirtyi Etelä-Savosta Pohjois-Savoon ja liitettiin Varkaudenkaupunkiin. Entinen kunnan alue on kuvattu kuvassa 7 rajattuna alueena. Entisenä kuntana Kangaslammin pinta-ala oli 412.96 km<sup>2</sup>, josta reilu neljännes on vesistöjä (Ikonen, 2006 12). Kangaslammin alueesta noin neljännes on vesistöjä, joten osa maapinta-alasta on vesistöjen ympäröimänä tai kokonaan saarialueita. Kangaslammin itäisessä osassa on saaria, joissa sijaitsee luonnonsuojelualueita. Lisäksi Kangaslammin alueella on pieniä suojelualueita ympäri Kangaslampia. Kangaslammilla on pieni kirkonkylä, jossa sijaitsee isoin asutus keskittymä, muualla asutus on haja-asutusaluetta tai maaseutua. Tällä hetkellä Kangaslammin alue on hiipuva asukasluvultaan. Kangaslammin väkiluku vuonna 2004 oli 1594 asukasta (Tilastokeskus 2005). Kangaslammin väkiluku tällä hetkellä noin 1200 asukasta (Varkaus julkaisuaika tuntematon).



KUVA 7. Kangaslammin aluerajaus (Metsäkeskus Laitinen 2022, CC BY-ND)

### 4.2 Kangaslammin kirkonkylän lämpövoimalaitos

Kuvassa 8 näkyvä lämmöntuotantolaitos on tehty Kangaslamminkirkonkylälle lämmöntuotantoa varten. Kangaslämpö Oy myy kaukolämpöä Varkauden Kangaslammilla. Lämpölaitos on rakennettu vuonna 2010 ja sen teho on 1 MW. Lämpöä tuotetaan noin 2000 MWh/vuosi ja jakeluverkkoa on noin 2 km. (Metsäenergia julkaisuaika tuntematon.)



KUVA 8. Kangaslammin lämpövoimalaitos (Metsäenergia, julkaisuaika tuntematon)

Voimalaitos käyttää energiana tällä hetkellä pääsääntöisesti lähialueen metsähaketta. Energia koostuu sekarankapuusta sekä listatehtaan puujätteestä lastuista ja kutterinpurusta. Metsähake kerätään pääsääntöisesti Kerimäki-Kangaslammin väliseltä alueelta. Kuvassa 9 näkyvät hakesiilot, joista hake siirretään ruuvikuljettimella poltettavaksi. Kuvan etureunassa näkyy listatehtaan puujätettä ja kuvan takaosassa näkyy tummempana metsähaketta, jossa kokopuu toimii raaka-aineena. (Viro 2022.)



KUVA 9. Hakesiilot (Leppänen 2022, CC BY NC-ND)

Voimalaitoksen metsähakkeen varastot ovat metsässä eikä haketta tai hakepuita kuivata koneellisesti. Tällä hetkellä voimalaitoksen energia koostuu 20 prosenttisesti listatehtaan puujätteestä ja 80 prosenttisesti metsähakkeesta. Lämpövoimalaitoksen vara lämmitysjärjestelmä toimii polttoöljyllä. Voimalaitos on nykyaikainen ja varustettu etäohjauksella sekä etävalvonnalla. (Viro 2022.)

## 5 PELTOBIOMASSAT SELVITYS KANGASLAMMILLA

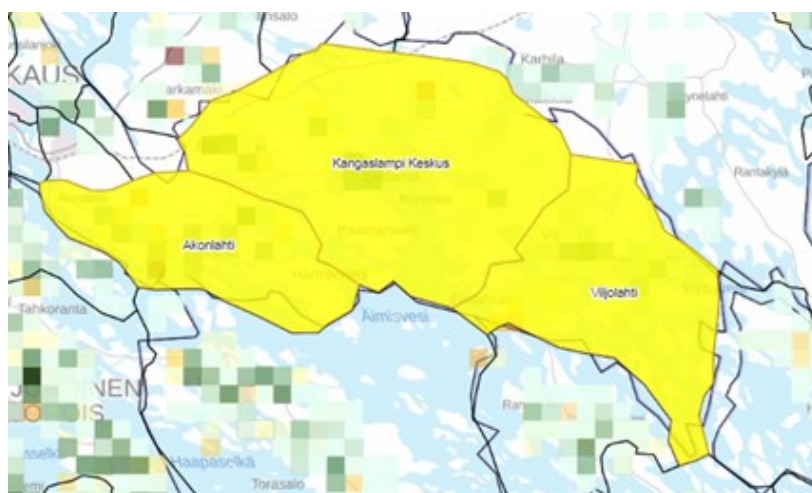
### 5.1 Lähtötilanne

Tutkimuskysymyksenä oli selvittää, onko Kangaslammin kirkonkylän alue omavarainen lämmönsuhteen. Tähän kysymykseen vastatakseen tuli selvittää entisen Kangaslammin kunnan alueelta löytyvien peltojen pinta-ala, ja mitä siellä viljellään. Kartoituksen jälkeen tuli laskea saadulle peltobiomassasta saatava energia. Energiantuoton kannalta pyrittiin optimoimaan peltobiomassat, eli viljat ja niiden sivuvirrat menivät polttoon ja ruohokasvit sivuvirtoineen mädätykseen.

### 5.2 Tiedonkeruu

Alueelta saatavia peltobiomassoja pyrittiin selvittämään Luonnonvarakeskuksen sekä alueen Maa-seutuasiamies Anna-Maija Jatkola-Räisäsen kanssa. Ongelmaksi osoittautui kuitenkin paikan valinta, sillä tiedot olivat saatavilla ainoastaan kuntatasolla, joten Kangaslammin alueelta ei ollut saatavilla ajantasaista tietoa. Toinen tiedonkeruuseen liittyvä ongelma tuli siitä, että pelloista ainoastaan tukia hakeneet peltoalueet päätyvät tilastoihin. Eli pellot, jotka eivät ole hakeneet tukia, eivät näy lainkaan tilastoissa. Tämän vuoksi laskujen ulkopuolelle jäi hehtaareittain potentiaalinen omaavaa peltomaata, ja näin ollen peltojen energiaosuudesta saatava laskentatulosta on enimmilläänkin vain suuntaa antava.

LUKE:n tutkijoista Eeva Lehtoselta saatiin vihje laskea Kangaslammin alueen peltoalueet Biomassa-atlas-karttapalvelun avulla. Kyseiseen karttapalveluun on syötetty kaikki tukia hakeneet metsä- ja peltoalueet. Alueen saattoi rajata vapaasti tai käyttää rajauksen ehtona postinumeroa. Kuten alla oleva kuva 10 osoittaa, ei pelkällä postinumerolla saada täysin tarkkaa tulosta. Opinnäytetyössä alueen peltobiomassat rajattiin molemmilla tavoilla, sillä vapaalla rajauksella on lähes mahdotonta saada tarkkoja alueita. Rajausten jälkeen karttapalvelu summasi alueen pellot ja laskennalliset peltobiomassat yhteen, ja antoi tulokset valmiina Excel-tilastona. Kahdella eri tavalla summatuista peltobiomassoista otettiin keskiarvo, jotta saataisiin mahdollisimman todenmukainen lopputulos biomassojen osalta. Samalla tavalla laskettiin myös alueen sivuvirrat. Epäluotettavuutta laskelmiin lisäsi myös se, että Biomassa-atlaksen tiedot ovat vuodelta 2015, joten tiedot Kangaslammin kohdalla ovat voineet muuttua seitsemän vuoden aikana melkoisestikin.



KUVA 10. Postinumerolla tehty aluerajaus. (Biomassa-atlas 2022)

## 6 PELTOBIOMASSOJEN LASKENNALLINEN ENERGIAPOTENTIAALI

Biomassa-atlaksen avulla saatiin rajattua entisen Kangaslammin kunnan alueelta 41298 hehtaarin alue tukia hakeneita peltoaloja. Alla olevassa kuvassa 11 on lueteltu alueelta saadut peltobiomassat sadon osalta. Näiden lisäksi Biomassa-atlaksesta selvisi myös viljelystä syntyvät sivuvirrat, joihin kuului 341 t/a olkea, 6 t/a valkuaiskasvien varsia, 1 t/a perunan varsia, 34 t/a viherlannoitusnurmen alkusatoa, 250 t/a kesantonurmea, 24 t/a suojanurmea sekä 66 t/a öljykasvien korsiä.

Sivuvirrat	Määrä	Yksikkö	Biomassa-atlas yhteensä	Keskiarvo	Yksikkö
Biomassan tyyppi			Biomassan tyyppi		t (k-a)/a
Sivuvirta: Olki	341	t (k-a)/a	Biomassa: Syysvehnä	24	t (k-a)/a
Sivuvirta: Valkuaiskasvien varret	6	t (k-a)/a	Biomassa: Kevätvehnä	29	t (k-a)/a
Sivuvirta: Perunan varret	1	t (k-a)/a	Biomassa: Kevätruis	0	t (k-a)/a
Sivuvirta: Viherlannoitusnurmien mahdollinen alkusato	34	t (k-a)/a	Biomassa: Ruis	4	t (k-a)/a
Sivuvirta: Kesantonurmi	250	t (k-a)/a	Biomassa: Muu ohra	132	t (k-a)/a
Sivuvirta: Suojavyöhykenurmi	24	t (k-a)/a	Biomassa: Mallasohra	0	t (k-a)/a
Sivuvirta: Öljykasvien korsi	66	t (k-a)/a	Biomassa: Kaura	180	t (k-a)/a
			Biomassa: Seosvilja	11	t (k-a)/a
			Biomassa: Vihantavilja	80,5	t (k-a)/a
			Biomassa: Herne	6	t (k-a)/a
			Biomassa: Härkäpapu	0	t (k-a)/a
			Biomassa: Peruna	3	t (k-a)/a
			Biomassa: Sokerijuurikas	0	t (k-a)/a
			Biomassa: Rypsi	39	t (k-a)/a
			Biomassa: Rapsi	0	t (k-a)/a
			Biomassa: Öljypellava	0	t (k-a)/a
			Biomassa: Ruokohelmi	0	t (k-a)/a
			Biomassa: Kumina	10	t (k-a)/a
			Biomassa: Laidunsato	210,5	t (k-a)/a
			Biomassa: Säilörehunurmet	6672,5	t (k-a)/a
			Biomassa: Kuivaheinänurmet	212,5	t (k-a)/a
			Biomassa: Tuorerehunurmet	32	t (k-a)/a
			Biomassa: Nurmikasvien siemensato	4	t (k-a)/a

KUVA 11. Leikekuva Excel-taulukko peltobiomassojen osalta (Eskelinen, 2022 CC BY-ND)

Kaikkienensa Kangaslammin alueelta saisi vuosittain kerättyä 8 372 tonnia erinäistä viljeltävää, mutta valtaosa pelloilta hyödynnettävistä on tarkoitettu karjan ja ihmisten ruokintaan. Siksi laskuissa on hyödynnetty pelkästään sivuvirtoja, joista kertyi 722 tonnia. Samoin sivuvirrat on jaettu korsiin ja olkeen sekä varsiin ja nurmeen, koska paljon ligniiniä ja kuitua sisältävät kasvit soveltuvat huonosti mädätykseen (Motiva 2013). Tästä syystä laskut on toteutettu siten, että kuitupitoiset kasvit menevät polttoon, ja mädätykseen sopivat biokaasun tuottoon. Mädätykseen sopivista sivuvirroista syntyi 309 tonnia ja polttoon 413 tonnia.

### 6.1 Peltobiomassoista saatava energia polttamalla

Viljan eri oljille on olemassa kohdennettuja lämpöarvoja, mutta koska tilastoista ei käynyt ilmi, mitä viljalajiketta olki oli, päädyttiin käyttämään oljen yleistä lämpöarvoa 13,5 MJ/kg. Lisäksi on hyvä olettaa, että oljista 20 %:a päätyy kuivikekäyttöön maatalouteen (von Weymarn 2007). Kyseistä lämpöarvoa käyttämällä, ja vähentämällä poltettavasta määrästä 20 %:a saatiin kuitupitoisille kasveille lämpöarvoksi 4 460 400 MJ/ vuosi. Muuntokertoimella 3,6 saatiin joulet muunnettua kilowateiksi, ja näin vuodessa saatavaksi tehoksi polton osalta tuli 1239 MWh. Mutta jos olisimme halunneet polttaa kaikki alueelta saatavat kuitupitoiset sivuvirrat sekä viljat, olisi vuodessa kyseiseltä alueelta saatu 2738,2 MWh.

Metsäenergiaa laskettaessa laskukaavoissa huomioitiin poltettavan biomassan kosteus. Tämä seikka peltobiomassojen energiaa laskettaessa puuttui, koska tähän tarkoitukseen soveltuvaa laskukaavaa ei löytynyt. Lisäksi Biomassa-atlaksen sivuja selatessa ei myöskään käynyt ilmi, oliko sivuvirroista jo

vähennetty peltojen multavuutta parantava massa. Voitaneen sanoa, että poltosta saatava energiamäärä on teoreettinen, sillä todellisuudessa, kosteudesta ja laskuja pienemmästä biomassasta johdun, saatava energiamäärä poltossa olisi pienempi.

## 6.2 Peltobiomassoista saatava energia mädättämällä

Biokaasun teoreettinen määrä laskettiin Luonnonvarakeskuksen sivuilta löytyvän Biokaasulaskurin avulla, joka on tarkoitettu maatilamittakaavan biokaasuntuotannon arviointiin (Luonnonvarakeskus 2020). Kyseistä laskuria käytettäessä vuosittainen syötemäärä ei saanut ylittää 15 000 tonnin rajaa. Alueen sivuvirroista kertyi yhteensä vain 309 tonnia vuodessa, ja jos kaikki alueen sato otettaisiin mukaan, niin silloinkin peltojen tuotto olisi 7 440,5 tonnia, joten laskuri sopi hyvin tähän tarkoitukseen. Biokaasulaskurin sivuilla vielä muistutettiin, että laskurista saadut laskelmat perustuvat keskimääräisiin arvoihin, joten sen antamat tulokset ovat suuntaa antavia. Biokaasulaskuri koostui yhdeksästä eri vaiheesta, joihin syötettäessä arvoja sekä tehtäessä valintoja, saatiin lopullinen tulos.

Biokaasulaskuriin tuli syöttää alueen syötteen. Jos mädätykseen otettiin vain sivuvirrat, tuli niiden kuiva-ainepitoisuudeksi 40 %:ia, mutta jos laskelmiin valittiin kaikki alueelta mädätykseen sopivat, syötteen yhteenlasketuksi kuiva-ainepitoisuudeksi saatiin 30,17 %. Seuraavaksi tuli valita, millainen mädätyslaitos valitaan; valittavana oli märkä-, kiinto- ja kuivamädätys. Märkämädätystä suositellaan, kun syötteen kuiva-ainepitoisuus on 12 % tai alle, kiintomädätystä puolestaan kuiva-ainepitoisuuden jäädessä alle 20 %:iin. Tässä tapauksessa, kun kuiva-ainepitoisuus oli hieman yli 30 %:ia, oli kannattavin valinta kuivamädätys. Märkä- ja kiintomädätyskin olisivat olleet mahdollisia, mutta niiden valinta olisi lisännyt runsaasti lisättävän veden tarvetta kuten alla olevasta kuvasta voidaan havainnoida. Laskelmissa käytetty kuiva-ainemädätys perustui panosprosessiin, jossa ei ole sekoitusta, ja siinä käytetään suotopetiteknikkaan, jossa suotonestettä kierrätetään silloissa olevan massan läpi.

Syötteen yhteenlasketun kuiva-ainepitoisuuden (30,17 %) perusteella käytettäväksi menetelmäksi (laitostyyppi) soveltuisi **kuivamädätys**. Kuiva-ainepitoisuuden laskemiseksi syötteesen voidaan lisätä vettä ja näin mahdollistaa märkämädätys tai kiintomädätys

### Märkämädätys

- Soveltuu syöteseokselle, jonka kuiva-ainepitoisuus  $\leq$  12 %
- Jatkuvatoinen prosessi, jossa jatkuva sekoitus
- Kiinteä, betoninen, osittain maan alle rakennettu reaktoriallas

### Kiintomädätys

- Soveltuu syöteseokselle, jonka kuiva-ainepitoisuus  $\leq$  20 %
- Jatkuvatoinen prosessi, jossa jatkuva sekoitus
- Modulaarinen konttirakenne, jossa prosessivaiheet (esikäsittely, mädätys, kaasun puhdistus) tapahtuvat eri koneteissa

### Kuivamädätys

- Soveltuu syöteseokselle, jonka kuiva-ainepitoisuus  $>$  20 %
- Panosprosessi, ei sekoitusta
- Perustuu suotopetiteknikkaan, jossa suotonestettä kierrätetään silloissa olevan massan läpi

Voidaksesi valita märkämädätyksen lisää ensin laimennusvettä vähintään 11 266 t/a. Lisäys voidaan tehdä joko palaamalla edelliseen vaiheeseen muokkaamaan syötteitä tai suoraan tässä. (Nykyinen laimennusveden määrä syötteesä: 0 t/a.)

Lisättävä vesi:  t/a [Lisää](#)

Voidaksesi valita kiintomädätyksen lisää ensin laimennusvettä vähintään 3 783 t/a. Lisäys voidaan tehdä joko palaamalla edelliseen vaiheeseen muokkaamaan syötteitä tai suoraan tässä. (Nykyinen laimennusveden määrä syötteesä: 0 t/a.)

Lisättävä vesi:  t/a [Lisää](#)

[Valitse kuivamädätys](#)

KUVA 12. Kuvaleike Biokaasulaskurista; Laitostyyppin valinta (Luonnonvarakeskus 2022)

Seuraavaksi tuli määrittää laitoksen reaktioiiloihin syötettävä panosten määrä; määräksi pystyi valitsemaan 2–4 panosta, jotta laitoksen biokaasun tuotto saadaan pysymään tasaisena. Pienemmällä panosten lukumäärällä mahdollistetaan pidemmät viipymäajat, ja siten korkeammat metaanin tuotot

raaka-aineista. Jos panosten lukumäärä on suurempi, tarvittava reaktoritilavuus on pienempi. Kyseisessä laskennassa päädyttiin kahteen panokseen vuodessa, jotta saataisiin maksimoitua metaanin tuotto pienellä biomassamäärällä.

Tässä vaiheessa Biokaasulaskuri antoi vastaukseksi kokonaisenergiantuoton. Pelkillä sivuvirroilla laskettuna vuotuinen energiasisältö oli 336 MWh/a, ja sitä vastaava reaktorin kaasuteho on 38 kW. Tuotetun biokaasun/raakakaasun tilavuus oli 61 010 m<sup>3</sup>. Vastaavasti kaikista alueen sadoista saataisiin vuodessa 7 472 MWh/a energiaa, jota vastaisi 853 kW reaktorin kaasuteho. Tästä saadun raakakaasun tilavuus oli 1 358 468 m<sup>3</sup>. Laskuri huomauttaa, että biokaasulaitoksen oma lämmön tarve katetaan laitoksen itse tuottamalla biokaasulla, jolloin todellinen tuotetun biokaasun energiasisältö olisi reilut 6 709 MWh/a, kuten alla oleva kuva 13 osoittaa. Tämän jälkeen laskuri esittää mädätteestä saatavat ravinteet, mutta koska opinnäytetyön aiheena on selvittää saatava energian määrä, tämä kohta sivuutetaan.

### Energiantuotantosuunnan valinta

Biokaasulaitoksen kokonaisenergiantuotto (tuotetun biokaasun energiasisältö) on 7 472 MWh/a. Sitä vastaava reaktorin kaasuteho on 853 kW. Tuotetun biokaasun/raakakaasun tilavuus on 1 358 468 m<sup>3</sup>.

Huom! Biokaasulaitoksen oma lämmön tarve katetaan lämmön tuotannolla biokaasusta. Vaihtoehtoisesti laitoksen oma lämmön tarve voidaan tuottaa myös CHP-tuotannolla. Säädä tällöin manuaalisesti lämmön tuotanto nolnaan.

Muokkaa	Energiantuotantomuoto	Tuotantomuodon jakauma	Energiantuotto (MWh/a)	Keskiteho (kW)
	Lämmön tuotanto	40 %	2 540 336	290
	Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto (CHP)	60 %	-	-
→	CHP: lämmön osuus		2 779 426	317
→	CHP: sähkön osuus		1 389 713	159
	Liikennepolttoaine <input type="checkbox"/> Myydään omalta tankkausasemalta	0 %	0	-
	Siirto ja myynti kaasuna	0 %	0	-
	Poltto soihdussa / hävikki	0 %	0	-
	<b>Yhteensä:</b>	<b>100 %</b>	<b>6 709 475 kWh/a</b>	

KUVA 13. Kuvaleike Biokaasulaskurista; Energiantuotantosuunnan valinta (Luonnonvarakeskus 2022)

Loppupäätä laskuri ottaa huomioon vielä investoinnit sekä tulot ja tuotot. Sähkön hinnan ollessa tällä hetkellä ennätyskorkea, päädyttiin biokaasulaitoksista tekemään CHP-laitoksia, jotka tuottivat lämpöä 40 %:ia, ja sähköä 60 %:ia tuotetusta energiasta –varsinkin kun investoinnin hinta ei juurikaan muuttunut riippumatta siitä, tuottiko laitos pelkää lämpöä vai lämpöä ja sähköä. Pelkillä sivuvirroilla tehdyt laskelmat antavat voimalaitoksen hinnaksi vain reilut 500 000 €, mutta tuottoja punnittaessa käy ilmi, että näin pienen laitoksen kate jää negatiiviseksi (-18 974,99 €) ja sen vuoksi sille ei pysty tekemään kannattavuuslaskelmia. Isomman laitoksen investoinnin hinnaksi tuli vajaa 2 200 000 €, jonka kate puolestaan jää positiiviseksi (36 363,50 €). Takaisinmaksuaika riippuu paljon sen hetkisestä sähköstä maksettavasta hinnasta. Biokaasulaitoksiin on saatavilla 40 %:n tuki, mutta kuten edellä luetellut luvut näyttävät, tarvitsisi maanviljelijältä myös omaa rahaa tähän mukaan maatalouden epävakaisista ajoista huolimatta. On myös hyvä muistaa, että jos tuen määrä on korkea, rajoitetaan maanviljelijän oikeuksia myydä energiaa ulkopuolelle.



## 7 METSÄENERGIA SELVITYS KANGASLAMMILLA

### 7.1 Lähtötilanne

Tarkoituksena on kartoittaa Kangaslammin kirkonkylän omavaraisuus lämmönsuhteen sekä selvittää, kuinka paljon Kangaslammin alueella on metsäenergiaa, jota voitaisiin käyttää Kangaslammin voimalaitoksessa.

Pääkohde metsäenergiassa ovat energiarankapuu ja hakkuutähteet. Työssä ei käsitellä puunkannoista saatavaa energiaa, koska kannot jäävät pääsääntöisesti metsäpohjan ravinteeksi. Lisäksi aineiston käsittelystä on jätetty pois metsäteollisuuden raaka-aineita, kuten tukkipuu ja kuitupuu sekä niistä tulevia puuraaka-aineen sivuvirtoja, koska puuraaka-aineet tulevat olemaan materiaalikerrossa mukana.

### 7.2 Tiedonkeruu

Alueelta saatavia metsäenergiatietoja ja -tilastoja selvitettiin Metsäkeskuksen kanssa. Metsäkeskuksesta saatiin todella selkeä karttapohja sekä ajantasaiset metsävaratiedot alueesta, joiden pohjalta oli selkeä lähestyä aihetta. Pohdintaa aiheutti alueen ajantasaiset avohakkuiden määrät, joita ei ollut saatavilla, joten luotettavaksi kertoimeksi avohakkuissa valittiin valtakunnallinen prosenttikerroin. Harvennuksien osalta Metsäkeskus ei arvioinut alueen hakkuuprosentteja, joten laskennassa käytettiin Luonnonvarakeskuksen verkkosivuilta löydetyillä valtakunnallisilla luvuilla.

### 7.3 Metsävaratiedot Kangaslammin alueella

Kangaslampi on 41296 hehtaaria, josta vesistöä on 11412 hehtaaria eli maapinta-ala on 29884 hehtaaria. (Ikonen, 2006 12). Metsäkeskuksen saatujen tietojen mukaan hakkuuehdotusten mukaan avohakkuukelpoista metsää on 6460 ha, harvennuskelpoista metsää 5902 ha ja ensiharvennuskelpoista metsää 2582 ha. Edellä mainittujen lisäksi alueella oli myös pienissä määrin kaistalehakkuuta, poimintahakkuuta, yläharvennusta, ylispuiden poistoa sekä siemenpuuhakkuuta. (Metsäkeskus, Laitinen 2022.)

Kuvasta 14 voidaan todeta, että kokonaisuudessaan Kangaslamilla oli yhteensä 15 031 hehtaaria ehdotettuja hakkuualueita, joista kertyi kokonaispuustoksi 2 424 100 kiintokuutiota puuta. Määrä sisältää teollisuuteen menevän puuraaka-aineen kuten tukki- ja kuitupuun. Tilastoissa täytyi kiinnittää erityisesti huomioita yksikköihin, koska energiapuustot oli arvioitu tonneissa ja teollisuuteen menevä puusto kiintokuutioissa. Kangaslammin alueella oli havutukkia 1 297 789 kiintokuutiota ja havukuitupuuta 641 166 kiintokuutiota. Lehtitukkipuuta oli 114 070 kiintokuutiota ja lehtikuitua 313 682 kiintokuutiota. (Metsäkeskus, Laitinen 2022.)

HAKKUUTAPA	Pinta-ala, ha	Mäntytukki, m3	Kuusitukki, m3	Lehtitukki, m3	Mäntykuitu, m3	Kuusikuitu, m3	Lehtikuitu, m3	Yhteensä, m3
Avohakkuu	6460	443759	806779	100238	168838	239034	136768	1896489
Ensiharvennus	2582	747	4 039	440	16078	44281	30317	96403
Harvennus	5902	39460	51 262	12902	64048	104751	145495	418324
Kaistalehakkuu	2	210	24	98	53	4	115	516
Poimintahakkuu	7	62	555	9	52	161	18	857
Yläharvennus	1	8	1	12	2	0	12	37
Ylispuiden poisto	21	311	0	245	119	0	354	1111
Siemenpuuhakkuu	56	4048	1825	126	2611	1134	603	10363
<b>Yhteensä</b>	<b>15031</b>	<b>488605</b>	<b>809184</b>	<b>114070</b>	<b>251801</b>	<b>389365</b>	<b>313682</b>	<b>2424100</b>

KUVA 14. Kuvaleike Metsäkeskuksen metsävaratiedoista Kangaslammin alueelta (Laitinen 2022, CC BY-ND)

Metsäkeskukselta saadut energiapuun kertymät oli laskettu tonneissa. Hakkuiden energiapuun alue tarkemman rajauksen jälkeen Kangaslammin oli 14943 hehtaaria. Energiapuukertymät oli jaettu kolmeen puulajiin; kuusi, mänty ja lehtipuihin johtuen alueen puujakaumasta. Kokonaisuudessaan alueella oli 459 430 tonnia energiapuumassaa, kuten kuvassa 15 nähdään. Määrä sisältää kaiken energiaksi muunnettavan puuaineksen eli kokopuun kannosta latvaan sekä lehti ja neulamassan. Hukkarunkopuuta oli 33 710 tonnia, mikä vastasi 7,34 prosenttia kokonaismäärästä ja oksamassaa oli 131 131 tonnia, eli noin 28,54 prosenttia kokonaismäärästä. (Metsäkeskus, Laitinen 2022.) Kantojen massaosuus oli merkittävä mutta niitä ei käsitellä laskuissa, koska ajatuksena että kannot jäävät lahoamaan metsäpohjaan ja siten toimivat maanparannusaineena.

Hakkuiden energiapuun kertymät						
HAKKUUTAPA	Pinta-ala, ha	Hukkarunkopuu, tonnia	Kantomassa, tonnia	Oksamassa, tonnia	Lehtimassa, tonnia	Yhteensä, tonnia
Avohakkuu	6460	13415	181971	102396	50684	348466
Ensiharvennus	2582	12347	9319	7886	4634	34186
Harvennus	5902	7735	37735	20751	10075	76296
Kaistalehakkuu	2	2	29	18	4	53
Poimintahakkuu	7	12	0	61	36	109
Siemenpuuhakkuu	56	99	95	16	3	213
Yläharvennus	1	0	4	3	0	7
Ylispuiden poisto	21	100	0	0	0	100
<b>Yhteensä</b>	<b>15031</b>	<b>33710</b>	<b>229153</b>	<b>131131</b>	<b>65436</b>	<b>459430</b>

KUVA 15. Kuvaleike Metsäkeskuksen metsävaratiedoista Kangaslammin alueelta (Laitinen 2022, CC BY-ND)

Energiapuun laskelmat keskittyvät kolmelle suurimmalle osa-alueelle, jotka olivat avohakkuu, harvennus ja ensiharvennus. Suomen mittakaavalla avohakkuuta tehdään 0.5–0.7 prosenttia metsäpinta-alasta vuosittain. (MTK 2018.) Avohakkuilta saadaan kerättyä metsätähteet energiaksi eli oksa- ja latvusmassa. Luonnonvarakeskuksen mukaan vuonna 2021 kaikesta energiapuusta oli karsittua rankaa 49 prosenttia ja latvusmassaa 43 prosenttia. Kokopuuta oli ainoastaan viisi, ja kantoja kolme prosenttia. (Luonnonvarakeskus 2022.)

Kangaslampiin kohdistetuissa laskelmissa käytettiin Suomessa keskimääräistä avohakkuuprosenttia, joka oli 0.7 sekä energiapuusta kokopuuprosenttia, joka oli viisi. Kyseiset luvut ovat valtakunnallisista tilastoista, joten ne ovat luotettavia sekä selkeästi vertailtavissa oleva kerroin Suomen mittakaavassa. Avohakkuiden määrä voi olla suurempi Kangaslammin alueella mutta pitkänajan seurannalla avohakkuuprosenttimäärä tasaantuu.

Kangaslammin alueella energiapuusto koostuu pääsääntöisesti havupuustosta. Suurin osa havupuun puuenergiasta saadaan avohakkuun hakkuutähteistä. Laskelmien mukaan noin 75 prosenttia energiämäärästä koostuu havupuiden hakkuutähteistä.

Uudistusalueilta hakkuutähteiden korjaaminen on metsän uudistumisen kannalta tärkeä, koska se nopeuttaa metsä uusiutumista sekä helpottaa metsäpohjan maanmuokkausta. (Maa- ja metsätalousministeriö julkaisuaika tuntematon). Harvennushakkuilta ei korjata pääsääntöisesti hakkuutähteitä, koska koneellisessa puunkorjuussa harvennuksille jäävään puustoon voi tulla vaurioita, joten hakkuutähteet jäävät maanparannusaineeksi metsään. (Knuutila 2003 39.)

Energiapuukertymä vaihtelee suuresti harvennuksilla, koska puiden pituudet ja halkaisijat vaihtelevat suuresti. Keskimäärin ensiharvennuksilta ja taimikoiden perkaamisesta saadaan 20–40 kuutiota hehtaarilta ja harvennuksilta saadaan 30–80 kuutiota hehtaarilta riippuen korjuutavasta ja puuston keskipaksuudesta. (Knuutila 2003 37.)

#### 7.4 Energiapuun varastointi ja haketus

Raaka-aineeksi korjattujen hakkuutähteiden sekä runkopuun polttoaineen kosteusprosentti on merkittävässä osassa, mikäli raaka-ainetta käytetään hakkeena lämpövoimalaitos käyttöön. Kosteusprosentilla on suuri vaikutus voimalaitoksen lämmöntuotantoon ja siitä saatavaan lämpötehoon. Kosteusprosentti vaikuttaa lämpötehoon, joten kostea puuainees nostaa ostettavan puuraaka-aineen määrää. (Viro 2022.)

Energiarankapuu korjataan märkänä koko tai osarankana tienvarteen, pellon tai hakkuuaukon reunalle, jossa puuainees annetaan kuivua, kuten kuvassa 16. Avohakkuilla oksa- ja latvusmassa annetaan kuivua hakkuuaukolla, jotta oksista irtoavat lehden sekä neulaset. Lehdet ja neulaset jäävät maan parannusaineeksi samalla tiputtaen kosteusprosenttia hakkeesta. Kuvassa 17 nähdään kuivumisen jälkeen latvusmassaa, joka on kuljetettu tienvarteen ja peitetty paksulla kartongilla, joka toimii sateen sekä lumen suojana. Tienvarsisäilöminen toimii monesti varastona voimalaitokselle. Energiapuunainesosat ovat sijoitettuina sellaiseen paikkaan, joista ne on helppo hakettaa suoraan hakekonttiin ja kuljettaa voimalaitokselle. Hakekontista saadaan helposti mitattua hakkeen kuutiotilavuus, joka muunnetaan kiintokuutioiksi tarvittaessa, kuten maksun perusteeksi tai tilastoihin tiedonlähteeksi. (Knuutila 2003 66.)



KUVA 16. Hakkeen raaka-aine, kokopuu (Leppänen 2022, CC BY-SA)



KUVA 17. Hakkeen raaka-aine, latvussa (Leppänen 2022, CC BY-SA)

## 7.5 Energiapuun saatavuus

Luonnonvarakeskuksen mukaan vuonna 2021 hakkuisiin verraten vuotuisesta kasvusta hakattiin noin 74 prosenttia, joten puuta kasvaa enemmän kuin hakataan. Puuta riittää Suomessa moneen käyttöön, mutta metsien hoitaminen tehostaisi energiapuun saatavuutta merkittävästi. (Maa- ja metsätalousministeriö 2022.) Metsien hoidon tehostamiseen on haettavissa eri suuruisia rahallisia tukia ja sitä kautta energian saatavuutta sekä omavaraisuutta voidaan parantaa koko Suomessa.

Suurin osa metsistä on yksityisomistuksessa, joten hakkuutähteiden eli oksa- ja latvusmassan saatavuus riippuu suoraan puun hinnasta. Puun myyntiin vaikuttaa lisääntyvissä määrin myös luonnon äärisääilmiöt, kuten myrskyt ja lumituhot. Puutuholaisten lisääntymisellä on myös vaikuttava tekijä puun myyntiin. (Maa- ja metsätalousministeriö 2020.) Äärisääilmiöt eivät ole merkittävästi vaikuttaneet Kangaslammin alueen energiapuun myyntiin.

Yksityiset metsänomistajat ovat tehostaneet Kangaslammin alueella omatoimista energiapuun korjuuta, koska energiapuun hinnat ovat nousseet. Energiapuusta saatava rahallinen korvaus auttaa lähinnä puun korjuukustannuksissa. Voidaan todeta, että energiapuun korjaaminen harvennuksilta ja taimikoilta on enemmän metsänhoidollista kuin taloudellista.

## 8 METSÄBIOMASSOJEN LASKENNALLINEN ENERGIAPOTENTIAALI

Seuraavassa kuvassa 18 on esitetty Kangaslammin alueen energiapuukertymät ja lajikejakaumat. Avohakkuu energiapuukertymässä on otettu huomioon hukkapuupu- ja oksamassakertymät. Harvennuksien osalta ei ole otettu huomioon oksamassaa, koska harvennuksella oksamassa jää maanparannusaineeksi. Voidaan teoreettisesti todeta, että energiapuukertymä olisi 135 000 tonnia mikäli hakattaisiin kaikki kerralla, mutta käytännössä asia ei näin ole. (Metsäkeskus, Laitinen 2022.)

AVOHAKKUU, ENERGIAPUUKERTYMÄ	Pinta-ala, ha	Hukkarunkopuu		Oksamassa	
		tonnia	Lajike jakauma,%	tonnia	Lajike jakauma, %
Kuusi	3823	8247	24,62 %	73645	71,92 %
Mänty	2373	4719	14,09 %	28750	28,08 %
Lehtipuu	264	449	1,34 %	0	0,00 %
<b>Yhteensä</b>	<b>6460</b>	<b>13415</b>		<b>102395</b>	
<b>ENSIHARVENNUS, ENERGIAPUUKERTYMÄ</b>					
Kuusi	1922	8878	26,50 %	Oksamassaa ei huomioida laskelmissa	
Mänty	330	1591	4,75 %		
Lehtipuu	328	1878	5,61 %		
<b>Yhteensä</b>	<b>2580</b>	<b>12347</b>			
<b>HARVENNUS, ENERGIAPUUKERTYMÄ</b>					
Kuusi	2857	4032	12,04 %	Oksamassaa ei huomioida laskelmissa	
Mänty	2004	2266	6,76 %		
Lehtipuu	1042	1437	4,29 %		
<b>Yhteensä, Tonnia</b>	<b>5903</b>	<b>7735</b>		<b>102395</b>	<b>100,00 %</b>
<b>Kerroin (t-&gt;kg)</b>					
	1000	24,65 %		75,35 %	
		kg	Lajike jakauma %	kg	Lajike jakauma %
Kuusi		21157000	63,16 %	73645000	71,92 %
Mänty		8576000	25,60 %	28750000	28,08 %
Lehtipuut		3764000	11,24 %	0	0,00 %
<b>Yhteensä</b>		<b>33497000</b>	<b>100,00 %</b>	<b>102395000</b>	<b>100,00 %</b>
					<b>135892</b>

KUVA 18. Kuvaleike Mika Leppäsen Excel-taulukosta, energiapuu kertymät. (Leppänen 2022, CC BY-SA)

Seuraavaksi laskettiin tehollinen lämpöarvo latvusmassalle ja rungon puuaineelle saapumistilassa. Laskelmista voidaan todeta, että latvusmassan energiamäärä on merkittävä, koska alueella on runsaasti havupuustoa. Laskelmat on tehty edellisen energiapuukertymän perusteella, joten tässä vaiheessa laskelmia pysytään teoreettisella tasolla. Latvusmassasta saataisiin noin 98000 kiintokuutiota latvusmassaa ja rungon puuainesta kertyisi vain noin kolmannes eli noin 30000 kiintokuutiota.

Latvus ilman lehtiä/neulasia MJ/kg			
LATVUSMASSA	Mänty	Kuusi	Lehtipuut keskiarvo
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa	21,04	19,19	19,67 MJ/kg
Polttoaineen Kosteus %	50	50	50 %
höyrystymisen entalpian korjauskerroin	0,02443	0,02443	0,02443 kerroin
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	9,30	8,37	8,61 MJ/kg
kerroin=muuntaminen-> kWh/kg	3,6	3,6	3,6 kerroin
kWh/kg	2,58	2,33	2,39 kWh/h
Oksamassa, kg	28750000	73645000	0 kg
Tehon määrä	74258854	171296224	0 kWh
Toimituserä irto-m3	74259	171296,22	0,00 MWh/irto-m3
			245555,08 kWh
			245555,08 MWh/irto-m3
			2,5 1m3 (kiintokuutio) noin =2,5 hake-m3
			98222 m3 Kiintokuutiota latvusmassaa
Rungon puuaine MJ/kg			
RUNGON PUUAINE	Mänty	Kuusi	Lehtipuut keskiarvo
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa	19,31	19,05	18,64 MJ/kg
Polttoaineen Kosteus %	50	50	50 %
höyrystymisen entalpian korjauskerroin	0,02443	0,02443	0,02443 kerroin
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	8,43	8,30	8,10 MJ/kg
kerroin=muuntaminen-> kWh/kg	3,6	3,6	3,6 kerroin
kWh/kg	2,34	2,31	2,25 kWh/h
Runkopuut, kg	8576000	21157000	3764000 kg
Tehon määrä	20090471	48799208	8467432 kWh
Toimituserä irto-m3	20090,47	48799,21	8467,43 MWh/irto-m3
			77357111 kWh
			77357 MWh/irto-m3
			2,5 1m3 (kiintokuutio) noin =2,5 hake-m3
			30943 m3 Kiintokuutiota runkopuuainesta

KUVA 19. Kuvaleike Mika Leppäsen Excel-taulukosta, tehollinen lämpöarvo. (Leppänen 2022, CC BY-SA)

Valtakunnallisten vuosittaisen hakkukertymien perusteella laskettaessa voidaan todeta, että Kangaslampi on omavarainen metsäenergian suhteen. Laskelmissa on vähennetty kokonaisenergiämäärästä yksityistalouksien puun tarve, joka on noin 10 prosenttia yksikköalueen energiasta.

Kangaslammien alueella metsästä saatava teho on vuotuisilla hakkuilla 5200 MWh ja Kangaslammien voimalaitos käyttää ainoastaan 2000 MWh vuodessa, joten ylijäämää on 3200 MWh, kun laskelmissa otetaan mukaan latvusmassa, vaikka voimalaitos ei käytä pääpolttoaineena latvusmassaa. Vaikka laskelmista poistettiin kokonaan latvusmassan osuus, niin Kangaslammien alue on omavarainen metsäenergian suhteen ilman latvusmassan tuomaa energiaa.

Laskelmissa on käytetty avohakkuu kertoimena 0.7 prosenttia, joka vastaa vain 45.22 hehtaaria metsää. Käytännössä avohakkuuprosentti voisi korkeampi, mutta virallista tietoa toteutuneista avohakkuumääristä ei ollut. Harvennuksien osalta prosenttikertoimena toimi 5 prosenttia, joka vastaa alueella noin 424 hehtaaria harvennuskasvua.

Kuvasta 20 voidaan todeta, että Kangaslammilla oli yli tuotantoa metsä energian suhteen. Helpotuksen kuvan 20 tulkintaa laskelmat ovat yksinkertaisuudessaan sellaiset, että kokoenergiapuu kertymästä on vähennetty pientalokäyttö 10 prosenttia, jonka jälkeen voimalaitos käyttöön jäävä osuus on 90 prosenttia metsäenergiasta. Voimalaitos käyttöön jäävästä metsäenergiasta on kertonut käytetty avohakkuu kohdalla 0.7 prosenttia ja harvennushakkuu kohdalla 5 prosentti. Näiden laskujen pohjalta on saatu laskelmien vuotuiset tulokset.

Saatavilla Kangaslammien alueelta mikäli kaikki hakataan energiaksi kerralla		322912189 kWh	
Kerroin kWh->MW	1000	322912 MWh	
Rungon puuaine		77357 MWh	
Pientalokäyttö rungonpuuainesta Luken mukaan	10 %	7736 MWh	
Voimalaitos käyttöön jäävä osa rungonpuu aineesta	90 %	69621 MWh	
Avohakkuu oksamassa syntyvä energia		245555 MWh	
Voimalaitos energiaksi alueella tehoja	Yhteensä	315176 MWh	Kangaslammien hakkuut % kertoimilla, ha
Avohakkuut suomessa kekimäärin, josta saadaan oksamassa/hakkuutähdettä	0,7 %	1719 MWh	Avohakkuu 45,22
Arvion mukaan energia runkopuuta	5,0 %	3481 MWh	Harvennukset 424,15
Käytössä oleva energia Kangaslammien alueella.		5200 MWh	<b>Energia puuta vuodessa</b>
Kangaslammien voimalaitoksen energia tarve		2000 MWh/a	
Ylijäämää vuodessa MWh		3200 MWh/a	
Kangaslammien voimalaitos on alueellisesti omavarainen vuotuisella metsän hakkuulla		2,60 Vuotta	
Ylijäämää vuodessa		1,6 Vuotta	

KUVA 20. Kuvaleike Mika Leppäsen Excel-taulukosta, Kangaslammien energiamäärät (Leppänen 2022, CC BY-SA).

## 9 POHDINTA

### 9.1 Peltobiomassa

Peltobiomassojen käyttäminen energiantuotannossa on aina ollut mielipiteitä jakavaa, sillä voidaanko energian tuottamista ravinnonlähteestä pitää eettisesti oikeana samaan aikaan kun maailmalla nähdään nälkää? Tästä syystä opinnäytetyössä laskelmat ja tulokset tehtiin pelkkiä sivuvirtoja tarkastelemalla, mutta mielenkiinnosta vertailukohdaksi laskettiin myös alueen energiapotentiaali kaikista peltobiomassoista. Sivuvirroista saatavat energiamäärät osoittautuivat melko pieniksi, eli poltosta oli mahdollista saada 1239 MWh vuodessa, ja mädättämällä 336 MWh/a. Kangaslammin voimalaitos tarvitsisi reilut 2000 MWh vuoteen energiaa, eivätkä pelkät alueen peltobiomassat siihen yksistään riitä - puhumattakaan koko alueen tarvitsemasta energiamäärästä. Lisäksi näin pienen peltobiomassan mädättäminen ei edes osoittautunut kannattavaksi tavaksi tuottaa energiaa.

Energiamäärät osoittautuivat siis melko pieniksi, mutta peltobiomassat voisivat jatkossa olla osana energiaomavaraisuuden turvaverkkoa. Esimerkiksi olkia voitaisiin polttaa pieninä määrinä puun seassa. Lisäksi oljista voitaisiin tehdä brikettejä, jolloin ne olisivat helpompia varastoida. Laskuja varten saatiin tietoa vain tukia hakeneista peltobiomassoista, mikä tarkoittaa, että valtavat potentiaaliset peltoalat jäivät laskelmien ulkopuolelle. Myös edellisvuoden jo pilaantumaan alkaneet säilörehut jäivät laskelmien ulkopuolelle, vaikka ne omaavat korkean biokaasupotentiaalin. Jatkossa tulisi siis hyödyntää sivuvirtoja nykyistä paremmin.

Tulee myös muistaa, että laskelmista saatu energiapotentiaali oli puhtaasti teoreettisia, sillä peltobiomassojen poltoille ei ollut vielä käytössä muuttujia huomioivia laskukaavoja. Tiedetään, että esimerkiksi poltettavan aineen kosteusprosentti vaikuttaa oleellisesti poltosta saatavaan lämpötehoon, mutta näissä laskuissa se jäi kokonaan huomioimatta. Samoin selvitystyössä ei otettu lainkaan huomioon energiataloudellisuutta, eli esimerkiksi matkoihin, voimalaitoksen toimintaan tai mahdolliseen kuivaukseen kuluva energia ei olla vähennetty laskujen lopputuloksista. Luonnonvarakeskuksen tekemä Biokaasulaskuri osasi vähentää lopputuloksesta omaan käyttöön tulevan lämmön. Näin ollen biokaasulaskurin antama tulos on todenmukainen, mutta poltosta saatu energiamäärä voi olla suurestikin yläkanttiin laskettu.

Opinnäytetyömme kohde sijaitsi Savossa, missä oli enemmän metsää kuin peltoa. Vaikka pelloilta saatavat energiamäärät eivät olleetkaan kovin suuria, voisi Pohjanmaalla tehty vastaava tulos olla paljon rohkaisevampi. Samoin tarkastelun alla olleet kasvilajit olivat eläinten ja ihmisten ravinnoksi tarkoitettuja lajikkeita, eivätkä esimerkiksi ruokohelpiä. Ruokohelpin ollessa kyseessä olisi energiamäärä voinut osoittautua suuremmaksi.

Tulevaisuudessa, kun kesien on ennustettu pitenevän, tulisi miettiä, voidaanko jatkossa ajatella pelloilta esimerkiksi kolmannen sadon korjaamista energiantuotantoon? Toisaalta ilmastonmuutos on lisännyt säiden ääri-ilmiöitä, mitkä osaltaan voivat vaikeuttaa pelloilta saatavan sadon keruuta. Tai voidaanko turpeen alasajon myötä entisiä turvepelloja valjastaa esimerkiksi ruokohelpin viljelymaaksi? Suomessa on monipuoliset mahdollisuudet hyödyntää uusiutuvia energiavaroja, ja peltobiomassat ovat mahdollisuus parantaa omaa energiaomavaraisuutta. Tulee myös punnita muita hyviä



puolia, joita biomassoilla saatava hajautettu energiantuotanto tarjoaa, kuten positiiviset ympäristövaikutukset. Edelliseen erimerkinä mädättäminen, jolla tuotettu biokaasu ei ole yhtä saastuttavaa kuin maakaasu. Kaiken kaikkiaan peltobiomassoistakin on saatavilla energiaa, mutta tarvitaan vielä lisää tutkimuksia muun muassa polttoteknisiin asioihin liittyen, ennen kuin peltobiomassoja kannattaa alkaa viljellä energiapoltoon.

## 9.2 Metsäenergia

Opinnäytetyö metsäenergian osalta työntoteutuksessa käytettiin tutkimusaineistona Metsäkeskuksen tilastotietoja sekä Luonnonvarakeskuksen julkaisemia puun energijakaumia. Lisäksi haastateltiin voimalaitoksen edustajia ja tutustuttiin voimalaitokseen käytännössä. Alueeseen tutustuttiin sekä käytännöntasolla että teoreettisesti.

Edellä mainittujen tietojen perusteella on laadittu laskelmia omavaraisuuden suhteen sekä pohdittu alueen metsäenergia potentiaalia. Laskelmissa on käytetty valtakunnallisia kertoimia, jotta tuloksista tulisi mahdollisimman luotettavia.

Kun tarkasteltiin Kangaslammin aluetta pelkästään metsäenergian näkökulmasta, on Kangaslampi metsäenergian suhteen selkeästi omavarainen. Alueella on runsaskasvuinen puusto, tämä tukee aluetta metsäenergian suhteen. Alueella asuvat sekä paikallinen voimalaitos hyödyntävät alueen puustosta saatavaa energiaa. Laskelmien mukaan alueella jää metsäenergiaa ylijäämäksi, joten metsäenergiaa myydään alueen ulkopuolisille toimijoille sekä voimalaitoksille.

Alueelle jäävän puuston määrä on suurempi kuin korjatun puun määrä. Näin ollen metsä toimii hiilivarastona. Kangaslammin suojelualueilla, joista ei korjata puustoa lainkaan nämä suojelualueet toimivat hiilivarastona pitkään. Suojelualueilla hiili säilyy puustossa sekä maaperässä pitkään. Myös Kangaslammin hyvin hoidetut, riittävän puustoiset kasvumetsäpohjat, joissa metsän kunto on hyvä nämä alueet toimivat tehokkaina hiilien sidonta alueina.

Kangaslamminvoimalaitos ei käytä avohakkuilta kerättyä havupuun hakkuutähteitä vaan polttaa ai-noastaan rankapuusta tai kokopuusta haketettua raaka-ainetta. Tällöin havupuiden avohakuun latvusmassa ja hakkuutähteet alueelta menee Kangaslammin alueen ulkopuolisille toimijoille. Harvennuksilta kerättyä rankapuuta sekä yksityiseen käyttöön tarkoitettua polttopuuta tulee myös riittävästi alueelta tarpeeseen nähden, joten rankapuuta ja kokopuuta menee myös alueen ulkopuolisille toimijoille. Laskelmissa todettiin, että Kangaslampi on omavarainen metsäenergian suhteen, vaikka latvusmassaa ei korjattaisi alueelta tällöin omavaraisuus 1.06 vuotta energiarankapuun kosteuden ollessa 65 prosenttia.

Harvennuksilta korjattava energiapuu koostuu pääsääntöisesti pienpuusta, joka voitaisiin hyödyntää energiana. Laskelmien mukaan noin 25 prosenttia energiamäärästä koostuu rungonpuuaineesta. Harvennuksilta kerättävän pienpuun kantohinta nousee paljon, koska kiintokuutioita ei tule kantokumäärään kohden paljoa. Näin ollen korjuukustannus on suuri. Harvennuksilta kuitupuu menee metsäteollisuuden käyttöön ja energiapuun kerääminen on lähinnä metsänhoidollinen eikä taloudellinen.

Kangaslammin voimalaitoksen edustajan mukaan parasta haketta voimalaitokselle olisi mahdollisimman kuiva koivuranka, josta hake tehtäisiin. Koivun lämpöarvo on muita paikallisia lehtipuita ja havupuita parempi. Tällä toimenpiteellä kattilan toiminta olisi vakaampi ja huoltotoimet vähentyisivät sekä toimitetun hakkeen laatu pysyisi tasaisena. Koivusta kilpaillaan teollisuuden kanssa, joten sen ostaminen kilpailukykyiseen hintaan on haasteellista sekä alueen puustorakenne vaikutta osin koivun saantiin. Koivua käytetään myös yksityistalouksissa lähinnä polttopuuna, mutta yksityiskäyttö ei vaikuta merkittävästi voimalaitoksen toimintaan tai koivuenergian saatavuuteen (Viro 2022.)

Kangaslammin voimalaitoksella aurinkosähköjärjestelmä tukisi voimalaitoksen toimintaa varsinkin kesäaikana, kun lämmöntarve on pieni ja hakkeen kulutus vähäistä. Valtakunnan tasolla olisi hienoa, jos pieni voimalaitos pystyisi olemaan omavarainen sähköenergian suhteen. Myös tämän hetken energiahintojen nousu tukee oman aurinkosähköjärjestelmän hankkimista. Taloudellisia näkökulmaa ei ole laskettu mutta tulevaisuus huomioiden ja tekniikan kehittymisen myötä kannattaa pitää harkinnassa.

Laskelmissa todettiin, että kosteusprosentilla on suuri vaikutus hakkeen tarvittavaan määrään. Mitä kosteampaa raaka-ainetta tulee poltettavaksi, sitä enemmän haketta joudutaan polttamaan lämpövoimalaitoksella. Voidaan todeta, että vaikka poltettaisiin kosteaa puuainesta niin alueella on riittävästi puuta tarjolla. Toki korkea kosteusprosentti puussa lisää hakkeen tarvetta ja siten nostavat alueen kuluttajahintoja ainakin voimalaitoksen osalta.

## LÄHTEET

- Aakkula, Jyrki, Heikkinen, Jaakko, Jallinoja, Marja, Lehtonen, Heikki, Luostarinen, Sari, Maanavilja, Liisa, Niemi, Jyrki, Rantala, Jukka, Saarion, Sanna & Soini, Katri 2020. LUKE. Maatalouden ilmastotiekartta. Verkkojulkaisu. <https://www.mtk.fi/documents/20143/0/Ilmastotiekartta+-raportti+15072020+%281%29.pdf/bc1197e3-6844-62e3-0259-931da255072b?t=1594791153902> Viitattu 9.6.2022
- Alakangas, Eija, Hurskainen, Markus, Laatikainen-Luntama, Jaana & Korhonen Jaana 2016. VTT. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Verkkojulkaisu. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2016/T258.pdf> Viitattu 24.5.2022
- Bioenergian Pikkujättiläinen 2022. Peltobiomassat. Verkkojulkaisu. <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/peltobiomassat/> Viitattu 23.5.2022
- Bioste 2014. Bioetanoli. Verkkojulkaisu. <https://bioste.fi/bioenergia/bioetanoli/> Viitattu 5.8.2022
- Biovoima 2019. Mitä on biokaasu? Verkkojulkaisu. <https://biovoima.com/biokaasu> Viitattu 23.5.2022
- Energiapuun mittausopas. PDF-julkaisu. 30.6.2014. <http://www.metla.fi>
- Ikonen, Antti 2006. Kangaslampi –historiaa kivikaudelta 2000-luvulle
- Joensuu, Katri, Luostarinen, Sari, Pulkkinen, Hannele, Pyykkönen, Ville, Rasi, Saija, Regina, Kristiina, Tampio, Elina, Timonen, Karetta, Virkajärvi, Perttu. 2019 LUKE. Nurmi biokaasun raaka-aineena. Verkkojulkaisu. [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/544351/luke-luobio\\_46\\_2019.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/544351/luke-luobio_46_2019.pdf?sequence=5&isAllowed=y) Viitattu 30.7.2022
- Kangaslämpö Oy. Verkkojulkaisu. <https://www.metsaenergia.fi/kangaslampo-oy/lampolaitosesittely/> Viitattu 18.5.2022
- Laine, Arto 2011. Peltoenergian tuotanto- ja käyttöpotentiaali Kanta- ja Päijät-Hämeen alueella. Verkkojulkaisu. <http://docplayer.fi/1977508-Peltoenergian-tuotanto-ja-kayttopotentiaali-kanta-ja-paijat-hameen-alueella.html> Viitattu 2.6.2022
- Laurila, Jaana, Saarinen, Jukka. Satafood Kehittämisyhdistys ry 2014. Oljen hyötykäyttöön liittyviä otteita tutkimusraportista: "Peltobiomassojen korjuu ja sen ympäristövaikutukset – kohdealueena Varsinais-Suomi ja Satakunta" [https://www.sbe.fi/SBE/Sopimukset\\_files/Peltobiomassojen\\_hyodyntaminen.pdf](https://www.sbe.fi/SBE/Sopimukset_files/Peltobiomassojen_hyodyntaminen.pdf) Viitattu 17.7.2022
- Leppänen, Mika. 2022. Hakesiilot. Valokuva. 30.6.2022. Varkaus, Kangaslamminvoimalaitos.
- Leppänen, Mika. 2022. Hakkeen raaka-aine. Valokuvat. 24.8.2022. Varkaus.
- Leppänen, Mika. 2022. Kuvaleikkeet. Excel-taulukko. Viitattu 30.9.2022
- Luonnonvarakeskus 2015. Biomassa-atlas. Verkkojulkaisu. <https://projects.luke.fi/biomassa-atlas/> Viitattu 18.8.2022
- Luonnonvarakeskus 2020. Biokaasulaskuri. Verkkojulkaisu. <https://testi-app.luke.fi/external/biogas/index.html?lang=fi> Viitattu 18.8.2022
- Luonnonvarakeskus. Puun energia käyttö. Verkkojulkaisu, 22.3.2022, <https://www.luke.fi/fi/tilastot/puun-energiakaytto/puun-energiakaytto-2021-ennakko/> Viitattu 13.6.2022
- Luonnonvarakeskus 2022. Energiapuukauppa. Verkkojulkaisu. <https://www.luke.fi/fi/tilastot/energiapuun-kauppa/energiapuun-kauppa-4-vuosineljannes-2021-ja-vuosi-2021>. Viitattu 17.7.2022

Lötjönen, Timo & Pahkala, Katri 2015. Luonnonvarakeskus. Peltobiomassat tulevaisuuden energiare-  
surssina. 2. painos. Verkkojulkaisu. [https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/519929/luke-  
luobio\\_55\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/519929/luke-<br/>luobio_55_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Viitattu 2.6.2022

Kymäläinen, Maritta & Pakarinen, Outi 2015. Biokaasuteknologia: Raaka-aineet, prosessointi ja lop-  
putuotteiden hyödyntäminen. Verkkojulkaisu. [https://www.theseus.fi/bitstream/han-  
dle/10024/104180/HAMK\\_Biokaasun\\_tuotanto\\_2015\\_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/han-<br/>dle/10024/104180/HAMK_Biokaasun_tuotanto_2015_ekirja.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Viitattu  
1.6.2022

Maa- ja metsätalousministeriö 2022. Investoiva maatila. Verkkojulkaisu. [https://mmm.fi/investoiva-  
maatila](https://mmm.fi/investoiva-<br/>maatila) Viitattu 23.5.2022

Maa- ja metsätalousministeriö. Luonnonvaraosasto, Metsä- ja bioenergiayksikkö. Verkkojulkaisu.  
<https://mmm.fi/metsat/puun-kaytto/puun-energiakaytto/> Viitattu 25.8.2022

Maa- ja metsätalousministeriö. Metsänhoito ja hakkuut suomessa, PDF-julkaisu 7.7.2022, Maa- ja  
metsätalousministeriö Viitattu 25.8.2022

Maa- ja metsätalousministeriö. Suomen metsävarat. Verkkojulkaisu. [https://mmm.fi/metsat/suo-  
men-metsavarat](https://mmm.fi/metsat/suo-<br/>men-metsavarat) Viitattu 23.5.2022

Maa- ja metsätalousministeriö. Metsälain ja metsätuholain vaikutusarviointi. Verkkojulkaisu.  
[https://mmm.fi/-/metsalain-ja-metsatuholain-vaikutusarviointi-valmistui-hyonteistuhojen-torju-  
miseksi-ehdotetaan-lakimuutoksia](https://mmm.fi/-/metsalain-ja-metsatuholain-vaikutusarviointi-valmistui-hyonteistuhojen-torju-<br/>miseksi-ehdotetaan-lakimuutoksia). Viitattu 25.8.2022

Maa- ja metsätalousministeriö. Verkkojulkaisu. Hakkuutähteen korjuu uudistushakkuualoittain  
[https://metsanhoidonsuosituksenteko.fi/fi/toimenpiteet/hakkuutahteen-korjuu-uudistushakkuualoilta/paa-  
toksenteko/](https://metsanhoidonsuosituksenteko.fi/fi/toimenpiteet/hakkuutahteen-korjuu-uudistushakkuualoilta/paa-<br/>toksenteko/) Viitattu 3.10.2022

Maaseudun tulevaisuus 2021. Maatilojen biokaasulaitosten investointituki nousee. Verkkojulkaisu.  
<https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/0b4a5b24-05e0-5c8e-b9d2-9fa78b926a36> Viitattu  
23.5.2022

Mansikka ry. 2022. EKOTEKOja – Kohti hiilineutraalia Pohjois-Savo Mansikan alueella. Verkkojul-  
kaisu. [https://mansikkary.fi/lue-hankkeista/ekotekoja-kohti-hiilineutraalia-pohjois-savo-mansikan-  
alueella/](https://mansikkary.fi/lue-hankkeista/ekotekoja-kohti-hiilineutraalia-pohjois-savo-mansikan-<br/>alueella/) Viitattu 20.5.2022

Mansikka ry. 2022. Tietoa meistä. Verkkojulkaisu. <https://mansikkary.fi/tietoa-meista/> Viitattu  
20.5.2022

Metsäkeskus, Laitinen, Kaisa 2022. Karttakuva. Metsävaratiedon hakkuuehdotukset Kangaslammin  
alueella 10.6.2022. Power BI Desktop. Yksityinen sähköpostiviesti 10.6.2022. Viestin saaja: Mika  
Leppänen

Metsäkeskus, Laitinen, Kaisa 2022. Kuvaleike excel-taulukosta. Metsävaratiedon hakkuuehdotukset  
Kangaslammin alueella 10.6.2022. Power BI Desktop. Yksityinen sähköpostiviesti 10.6.2022. Viestin  
saaja: Mika Leppänen

Metsäkeskus 2022. Energiaa metsästä. Verkkojulkaisu. [https://www.metsakeskus.fi/fi/energiaa-met-  
sasta/](https://www.metsakeskus.fi/fi/energiaa-met-<br/>sasta/) Viitattu 8.6.2022

Metsäkeskus 2022. Metsäenergia. Verkkojulkaisu. [https://www.metsakeskus.fi/fi/tietoa-meista/toi-  
minnan-painopisteet/metsaenergia/](https://www.metsakeskus.fi/fi/tietoa-meista/toi-<br/>minnan-painopisteet/metsaenergia/) Viitattu 8.6.2022

- Motiva 2020. Energiaa pelloilta. Verkkojulkaisu. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/energiaa\\_pelloilta](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_pelloilta) Viitattu 20.5.2022
- Motiva 2020. Bioenergiահankkeiden rahoitus ja suunnittelu. Verkkojulkaisu. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/bioenergia/bioenergiահankkeiden\\_rahoytus\\_ja\\_suunnittelu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergiահankkeiden_rahoytus_ja_suunnittelu) Viitattu 25.5.2022
- Motiva 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla. Verkkojulkaisu. [https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun\\_tuotanto\\_maatilalla.pdf](https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf). Viitattu 25.5.2022
- MTK 2018. Uutinen. Verkkojulkaisu. <https://www.mtk.fi/-/avohakkuuta-ei-ole-syyta-lopettaa-ekologisuuden-takia>. Viitattu 17.6.2022
- Omavaraopisto 2019. Omavaraisuus pähkinänkuoressa. Verkkojulkaisu. <http://omavaraopisto.fi/omavaraistumisesta/> Viitattu 23.5.2022
- Kirsi, Knuutila 2003. Puuenergia. Metsähakkeet, Tero Vesisenaho. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy
- Kirsi, Knuutila 2003. Puuenergia. Hakkuutähdehakkeen tuotanto, Tapani Sauranen. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy
- Puupolttoaineiden laatuohje. PDF-julkaisu 30.11.2020. Bioenergia ry, Energiateollisuus ry, Metsäteollisuus ry ja VTT.
- ProAgria Keski-Pohjanmaa 2016. ProAgrian Asiakas- ja jäsenlehti 2 / 2016. Verkkojulkaisu. [https://www.proagria.fi/uploads/archive/attachment/tiedotuslehtikp\\_2\\_2016.pdf](https://www.proagria.fi/uploads/archive/attachment/tiedotuslehtikp_2_2016.pdf) Viitattu 30.7.2022
- Ruokavirasto 2021. Maatalouden investointituet. Verkkojulkaisu. <https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/tuet-ja-rahoytus/maatalouden-investointituet/> Viitattu 25.5.2022
- Tilastokeskus. Kuvaleike. Verkkosivuilta. [https://pxweb2.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_\\_ehk/statfin\\_ehk\\_pxt\\_12vq.px/chart/chartViewAreaStacked/](https://pxweb2.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__ehk/statfin_ehk_pxt_12vq.px/chart/chartViewAreaStacked/) Viitattu 25.8.2022
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2020. Biokaasuohjelmaa valmisteleavan työryhmän loppuraportti. Verkkojulkaisu. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162032/TEM\\_2020\\_3\\_Biokaasuohjelmaa%20valmisteleavan%20tyoryhman%20loppur%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162032/TEM_2020_3_Biokaasuohjelmaa%20valmisteleavan%20tyoryhman%20loppur%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y) viitattu 24.7.2022
- Tilastokeskus 2005. Väkiluku kunnittain. PDF-julkaisu. Väkiluku kunnittain ja suuruusjärjestyksessä 31.12.2004 [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162032/TEM\\_2020\\_3\\_Biokaasuohjelmaa%20valmisteleavan%20tyoryhman%20loppur%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162032/TEM_2020_3_Biokaasuohjelmaa%20valmisteleavan%20tyoryhman%20loppur%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Viitattu 27.7.2022
- Varkaus, julkaisuaika tuntematon. Verkkojulkaisu. <https://www.varkaus.fi/asuminen-ja-ymp%C3%A4rist%C3%B6/asuminen/asuntoalueiden-esittely/kangaslampi/> Viitattu 25.8.2022
- Viro, Timo 2022. Lämpölaitospäällikkö. Haastattelu 30.6.2022
- von Weymarn, Niklas. VTT 2007. Bioetanolia maatalouden selluloosavirroista. Verkkojulkaisu. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2007/T2412.pdf> Viitattu. 8.9.2022