

# HIME

Hämeen Ilmastoviisas Maaseutu- ja  
Energiayrittäjyys

MAATALOUDEN  
SIVUVIRRAT HYÖDYKSI

---

Pyrolyysi ja mädätys  
prosessien liiketoiminnan  
laskelmat



# JOHDANTO

Maatalouden toiminta on edelleen erittäin riippuvaista fossiilisista tuotanto-panoksista muun muassa raskaiden koneiden käytön vuoksi. Lisäksi nykyisen geopoliittisen tilanteen, inflaatiopaineiden sekä polttoaineiden, energian ja lannoitteiden hintojen noustessa halutaan uudenlaisia toimintamalleja turvaamaan toimitusvarmuutta ja lisäämään sietokykyä globaalin toimitusketjun muutoksien varalta. Samalla, kun maatalousyrittäjät yrittävät selviytyä maailmanmarkkinoiden epävakaasta tilasta ja ympäristöongelmien aiheuttamista paineista, kohtaavat he myös vakavia sosioekonomisia ongelmia, kuten nopeaa kaupungistumista, maatalousväestön ikääntymistä sekä kannattavuuden heikkenemistä. Esimerkiksi suomalaisten tilojen yrittäjätulo laski vuonna 2019 noin 20 % edellisvuoteen verrattuna [1].

Suomessa 11 % vuotuisista kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuu maatalouden toiminnoista [2] ja 20 % suomalaisten hiilijalanjäljestä ruoan kulutuksesta [3]. Vaikka ruoantuotanto aiheuttaakin merkittävän osan päästöistä, ovat kestävä maatalouskäytännöt osoittautuneet merkittäviksi hiilen sitomisen mekanismeiksi. Hiilinielujen perustamista ja materiaali- ja energiakierron sulkemista pidetäänkin tärkeinä toimina kiertotalouden periaatteiden integroimiseksi maatalouden ja maaseudun kehittämiseen. Esimerkiksi teknologiat, jotka kiertävät ja käyttävät uudelleen maatalouden sivuvirtoja jalostamalla ne uusiksi arvokkaiksi tuotteiksi, herättävät nyt kiinnostusta [5]. Lannan ja muiden biologisten jätteiden käsittely maatalouden biojalostamoprosesseilla, kuten anaerobisella mädätyksellä tai pyrolyysillä, on tunnistettu ratkaisuksi kiertotalouden vaatimusten täyttämiseksi [6–8].

## Sisällysluettelo

Johdanto.....	2
Pyrolyysin ja mädätyksen yhdistäminen herättää mielenkiintoa.....	3
Laskelma-asetelma.....	4
Tulokset.....	5
Lähteet .....	7

# PYROLYYSIN JA MÄDÄTYKSEN YHDISTÄMINEN HERÄTTÄÄ MIELENKIINTOA

## Pyrolyysi

Kuivat maatalousjätteet ja lignoselluloosabiomassat ovat sopivia raaka-aineita pyrolyysiin [9], joka on yleisin biohiilen tuotantoteknologia [10]. Biohiiltä syntyy, kun biologista ainetta poltetaan vähähappisissa tai hapettomissa olosuhteissa. Biohiili voi pitää hiilen vakaassa muodossa jopa tuhansia vuosia [4]. Näin sillä on merkittävä potentiaali ilmastonmuutoksen neutraloinnissa toimimalla hiilinieluna [7,11]. Solumuotonsa ansiosta biohiili voi parantaa maaperän laatua pidättämällä ravinteita ja vettä sekä tarjoamalla sopivat olosuhteet mikrobeille, mikä tekee siitä erinomaisen komponentin kemiallisille tai orgaanisille lannoitteille [4,12]. Biohiilen tuotannon pullonkaulat liittyvät sopiviin raaka-aineisiin, korkeisiin investointikustannuksiin, biomassaraaka-aineen sääntelyyn ja testaukseen sekä epävaakaaseen markkinahintaan [7,13,14].

## Mädätys

Lannan mädätystä on ehdotettu menetelmäksi biokaasun tuottamiseksi [15–17]. Mädätyksellä voidaan käsitellä märkää orgaanista ainesta (esim. lantaa, viherjätettä, jätevesilietettä) hapettomissa olosuhteissa ja muuntaa ne biokaasuksi sekä mädätejäännökseksi. Biokaasua voidaan käyttää uusiutuvan energian tuottamiseen yhteistuotannossa tai syöttää kaasuverkkoon, kun se puhdistetaan ja käsitellään biometaaniksi [18].

Biokaasu tarjoaa kotimaisen ja ekologisen vaihtoehdon fossiilisten polttoaineiden tuonnille. Huolimatta siitä, että mädätys on itsessään jo kypsä teknologia, se kärsii teknisistä ongelmista, kuten alhaisesta metaanin tuotannon tehokkuudesta, laitteiden korkeasta vikaantumisasasteesta, biokaasun mädätteen hyödyntämiseen liittyvistä ongelmista ja alhaisesta taloudellisesta suorituskyvystä [19,20].

## Yhteiskäyttö

Viime aikoina pyrolyysin ja mädätyksen yhteiskäyttöä on ehdotettu ratkaisuksi mädätteen käsittelyhaasteisiin, sillä kuivatettu mädäte sopii raaka-aineeksi pyrolyysiin. Biohiilen on myös arvioitu lisäävän metaanin saantoa sekä todettu parantavan samalla mädätysprosessin tervettä toimintaa [21–30]. Tämän lisäksi biohiiltä voidaan lisätä nestemäiseen mädätteeseen, minkä hyödyntäminen voi lisätä kasvien kasvua pelloilla. Yhdessä nämä biojalostamoprosessit voisivat tuottaa biokaasua, biohiiltä ja orgaanista lannoitetta maatalouden jätevirroista. Paikallisesti tuotettu biokaasu ja orgaaniset lannoitteet vähentävät riippuvuutta maahantuoduista fossiilisista poltto-aineista ja maataloustoimijoiden kemiallisista lannoitteista. Yhteiskäyttö voisi tarjota houkuttelevan ratkaisun viljelijöiden kohtaamien ympäristö- ja sosioekonomisten paineiden lievittämiseen.

# LASKELMA-ASETELMA

Näissä laskelmissa tarkastellaan keskimääräisten suomalainen maatalouden sivuvirtojen hyödyntämistä maatilamitta-kaavassa. Tätä tutkimusta varten tilatyypiksi valittiin maitotila, jolla viljellään myös vehnää. Suomessa laiduntaa keskimäärin 0,75 lehmää per hehtaari [31]. Tämän tutkimuksen maitotilalla on 150 lehmää 340 hehtaarin viljelyalueella, josta 110 hehtaaria käytetään vehnän viljelyyn. Alueella sijaitsee myös 3 hehtaarin kokoinen kasvihuone. Alueella syntyy vuositasolla sivuvirroiksi yhteensä 2250 t märkälantaa, 260 t olkea sekä 50 t kasvijätettä. Laskelmissa laskettiin sivuvirtojen käsittelyn toimintamalleista seuraavat ilmastonlämpenemispotentiaalit (GWP100) sekä niiden taloudellisen kannattavuuden indikaattori (NPV, IRR, takaisinmaksuaika).

## Skenaariot

Sivuvirtojen hyödyntämistä tutkittiin 7 skenaarion alla. Jokainen skenaario kuvastaa eri toimintamallia sivuvirtojen hyödyntämisessä ja ne on kuvattu alla olevassa taulukossa. Skenaario 1 kuvastaa toimintatapaa, jossa olki poltetaan lämmöntuotannossa, tuorelanta levitetään pelloille ja kasvijäte kompostoidaan. Skenaariossa 2 lanta kompostoidaan kasvijätteen kanssa. Skenaariossa 3 lanta separoidaan kuivaan ja märkään jakeeseen, joista kuiva jae kompostoidaan kasvijätteen kanssa ja lannan märkä jae levitetään pelloille. Skenaariossa 4 olki, lanta ja kasvijäte syötetään mädätysprosessiin, jonka separoidun lietteen kuiva jae kompostoidaan ja märkä jae levitetään pelloille. Skenaariossa 5 olki poltetaan samalla kun lanta ja kasvijäte hyödynnetään mädätyksessä. Skenaariossa 6 olki, lanta ja kasvijäte syötetään mädätykseen, jonka kuiva liete pyrolysoidaan ja märkä liete levitetään pelloille. Skenaariossa 7 lanta ja kasvijäte syötetään mädätykseen, jonka kuiva liete pyrolysoidaan oljen kanssa samalla, kun märkä liete levitetään pelloille.

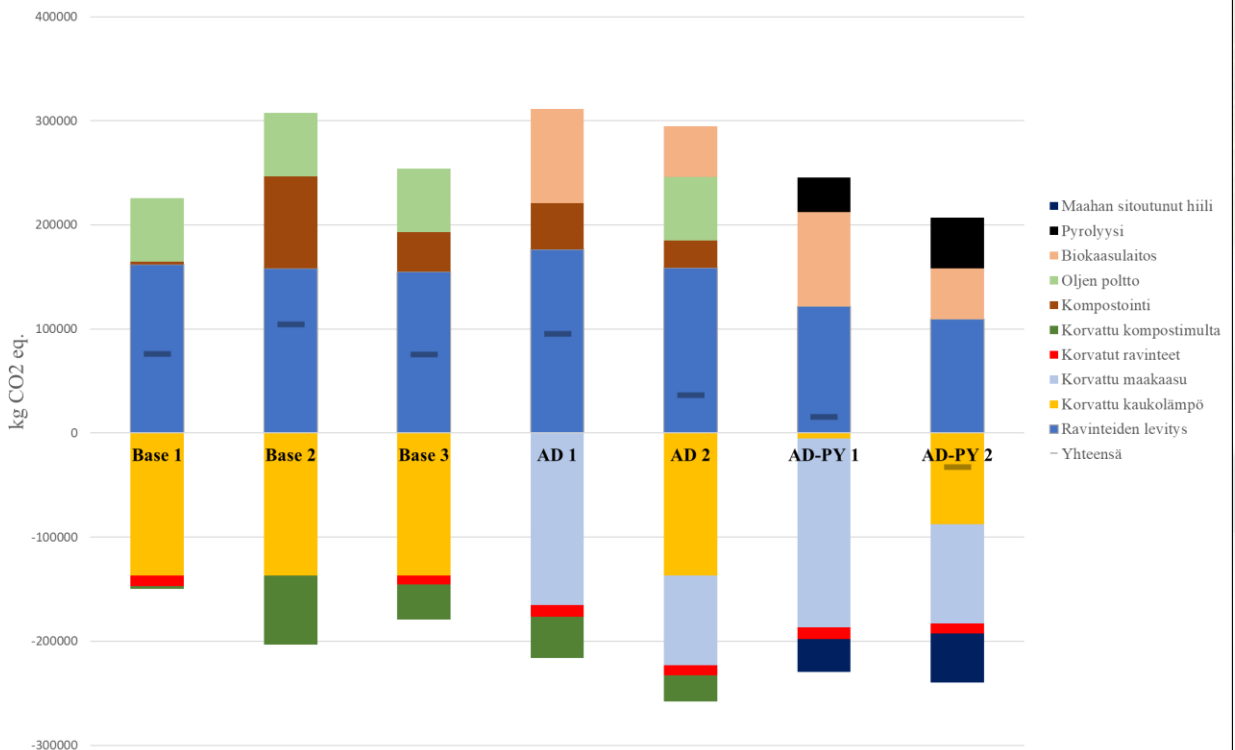
Skenaariot sivuvirtojen hyödyntämisessä

Skenaario	Nimi	Olki	Lanta	Kasvijäte	Kuiva liete	Märkä liete
1	Baseline 1	Poltto	Levitys	Komposti	-	-
2	Baseline 2	Poltto	Komposti	Komposti	-	-
3	Baseline 3	Poltto	Levitys/komposti	Komposti	-	-
4	AD <sub>1</sub>	Mädätys	Mädätys	Mädätys	Komposti	Levitys
5	AD <sub>2</sub>	Poltto	Mädätys	Mädätys	Komposti	Levitys
6	AD <sub>1</sub> -PY	Mädätys	Mädätys	Mädätys	Pyrolyysi	Levitys
7	AD <sub>2</sub> -PY	Pyrolyysi	Mädätys	Mädätys	Pyrolyysi	Levitys

# TULOKSET

	NPV (0%)	NPV (5%)	NPV (10%)	IRR	GWP100
<b>Baseline 1</b>	537 067 €	218 432 €	60 175 €	13 %	76307
<b>Baseline 2</b>	-185 262 €	-378 559 €	-462 745 €	-3 %	104513
<b>Baseline 3</b>	447 503 €	105 308 €	-61 834 €	8 %	75493
<b>AD 1</b>	577 884 €	90 166 €	-147 248 €	7 %	95721
<b>AD 2</b>	501 919 €	43 791 €	-177 563 €	6 %	36900
<b>AD-PY 1</b>	1 249 358 €	487 234 €	111 390 €	12 %	47727
<b>AD-PY 2</b>	785 524 €	236 310 €	-30 179 €	9 %	14778

Ilmastonlämpenemispotentiaali (GWP 100), sisältäen biogeeniset ja maankäytön päästöt

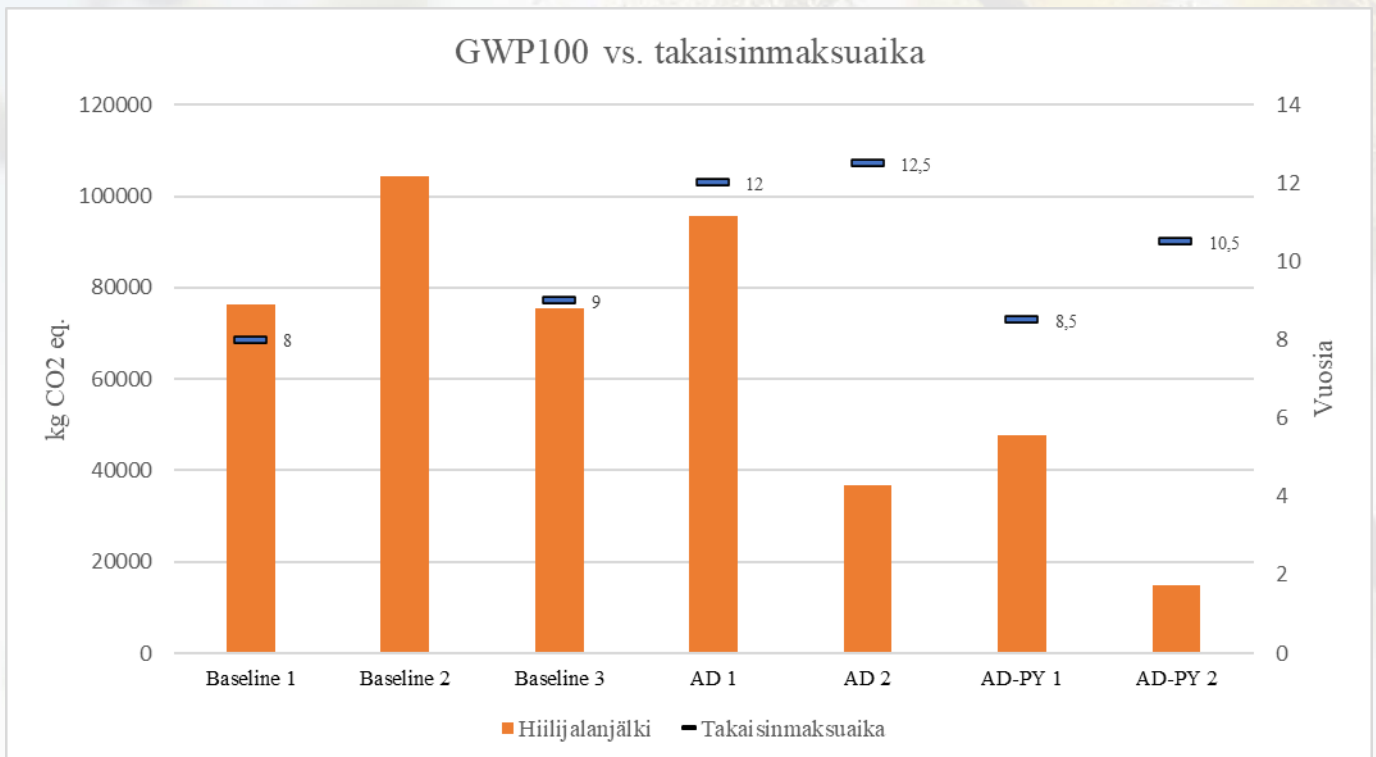


# TULOKSET

Laskelmien perusteella oljen energiakäyttö sekä mädätys- ja pyrolyysiprosessien yhteiskäytön hyödyntäminen maaseudun sivuvirtojen käsittelyssä tuovat selkeitä ilmastohyötyjä. Myös mädätyksen hyödyntäminen tuo laskee kasvihuonekaasupäästöjä lannan peltolevitykseen nähden, mutta vain jos olki hyödynnetään samaan aikaan lämmitysenergiana. Mädätysprosessiin investointi kuitenkin heikentää hyödyntämisen taloudellista kannattavuutta.

Kompostointi kasvattaa laskelmien mukaan sekä kustannuksia että ilmastovaikutuspotentiaalia. Tuorelannan separoinnilla ei todettu merkittäviä vaikutuksia taloudelliseen kannattavuuteen taikka ilmastovaikutuksiin.

Vaikka tuorelannan levitys sellaisenaan olisikin kustannustehokkain toimintamalli, tuovat biokaasun tuotanto ja hiilensidonta vaihtoehtoisia etuja. Nämä toimintamallit ovat esimerkiksi vähemmän alttiita globaalien hinnanmuutosten vaikutuksille sekä parantavat yrittäjien energiaomavaraisuutta.



# LÄHTEET

1. Latvala T, Niemi J, Väre M. Finnish agri-food sector outlook. 2020.
2. Tilastokeskus. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990-2018. Ympäristö Ja Luonnonvarat 2018.
3. Lettenmeier M, Akenji L, Toivio V, Koide R, Amellina A. 1.5-degrees lifestyles: Targets and options for reducing lifestyle carbon footprints. Helsinki: 2019.
4. Peltonen S, Hagelberg E. Ilmastoviisas maaseutuyritys. ProAgria Keskusten Liitto [2019]; 2019.
5. Demichelis F, Laghezza M, Chiappero M, Fiore S. Technical, economic and environmental assesment of bioethanol biorefinery from waste biomass. J Clean Prod 2020;277. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124111>.
6. Khoshnevisan B, Duan N, Tsapekos P, Awasthi MK, Liu Z, Mohammadi A, et al. A critical review on livestock manure biorefinery technologies: Sustainability, challenges, and future perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2021;135. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110033>.
7. Leppäkoski L, Marttila MP, Uusitalo V, Levänen J, Halonen V, Mikkilä MH. Assessing the carbon footprint of biochar from willow grown on marginal lands in finland. Sustainability (Switzerland) 2021;13. <https://doi.org/10.3390/su131810097>.
8. Luhas J, Marttila M, Leppäkoski L, Mikkilä M, Uusitalo V, Linnanen L. A Financial and Environmental Sustainability of Circular Bioeconomy: A Case Study of Biomass Processes in Southern Finland. SSRN Electronic Journal 2022. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4048093>.
9. Tisserant A, Cherubini F. Potentials, limitations, co-benefits, and trade-offs of biochar applications to soils for climate change mitigation. Land (Basel) 2019;8. <https://doi.org/10.3390/LAND8120179>.
10. Qian K, Kumar A, Zhang H, Bellmer D, Huhnke R. Recent advances in utilization of biochar. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.074>.
11. Tisserant A, Morales M, Cavalett O, O'Toole A, Weldon S, Rasse DP, et al. Life-cycle assessment to unravel co-benefits and trade-offs of large-scale biochar deployment in Norwegian agriculture. Resour Conserv Recycl 2022;179. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106030>.
12. Semida WM, Beheiry HR, Sétamou M, Simpson CR, Abd El-Mageed TA, Rady MM, et al. Biochar implications for sustainable agriculture and environment: A review. South African Journal of Botany 2019;127. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.11.015>.
13. Shackley S, Hammond J, Gaunt J, Ibarrola R. The feasibility and costs of biochar deployment in the UK. Carbon Manag 2011;2. <https://doi.org/10.4155/cmt.11.22>.
14. Kavitha B, Reddy PVL, Kim B, Lee SS, Pandey SK, Kim KH. Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. J Environ Manage 2018;227. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.082>.
15. Zhang C, Xiao G, Peng L, Su H, Tan T. The anaerobic co-digestion of food waste and cattle manure. Bioresour Technol 2013;129. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.138>.

# LÄHTEET

16. Nayal FS, Mammadov A, Ciliz N. Environmental assessment of energy generation from agricultural and farm waste through anaerobic digestion. *J Environ Manage* 2016;184. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.058>.
17. Kaparaju P, Rintala J. Mitigation of greenhouse gas emissions by adopting anaerobic digestion technology on dairy, sow and pig farms in Finland. *Renew Energy* 2011;36. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.05.016>.
18. Roubaud A, Favrat D. Improving performances of a lean burn cogeneration biogas engine equipped with combustion prechambers. *Fuel* 2005;84. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.02.023>.
19. Chen Q, Liu T. Biogas system in rural China: Upgrading from decentralized to centralized? *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017;78. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.113>.
20. Zhang T, Yang Y, Xie D. Insights into the production potential and trends of China's rural biogas. *Int J Energy Res* 2015;39. <https://doi.org/10.1002/er.3311>.
21. Sunyoto NMS, Zhu M, Zhang Z, Zhang D. Effect of biochar addition on hydrogen and methane production in two-phase anaerobic digestion of aqueous carbohydrates food waste. *Bioresour Technol* 2016;219. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.089>.
22. Liang Y, Qiu L, Guo X, Pan J, Lu W, Ge Y. Start-up performance of chicken manure anaerobic digesters amended with biochar and operated at different temperatures. *Nature Environment and Pollution Technology* 2017;16.
23. Luo C, Lü F, Shao L, He P. Application of eco-compatible biochar in anaerobic digestion to relieve acid stress and promote the selective colonization of functional microbes. *Water Res* 2015;68. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.10.052>.
24. Wang G, Li Q, Gao X, Wang XC. Sawdust-Derived Biochar Much Mitigates VFAs Accumulation and Improves Microbial Activities to Enhance Methane Production in Thermophilic Anaerobic Digestion. *ACS Sustain Chem Eng* 2019;7. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b04789>.
25. Cai J, He P, Wang Y, Shao L, Lü F. Effects and optimization of the use of biochar in anaerobic digestion of food wastes. *Waste Management and Research* 2016;34. <https://doi.org/10.1177/0734242X16634196>.
26. Fagbohunbe MO, Herbert BMJ, Hurst L, Li H, Usmani SQ, Semple KT. Impact of biochar on the anaerobic digestion of citrus peel waste. *Bioresour Technol* 2016;216. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.04.106>.
27. Fabbri D, Torri C. Linking pyrolysis and anaerobic digestion (Py-AD) for the conversion of lignocellulosic biomass. *Curr Opin Biotechnol* 2016;38. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.02.004>.
28. González-Arias J, Fernández C, Rosas JG, Bernal MP, Clemente R, Sánchez ME, et al. Integrating Anaerobic Digestion of Pig Slurry and Thermal Valorisation of Biomass. *Waste Biomass Valorization* 2020;11. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00873-w>.
29. Ghysels S, Acosta N, Estrada A, Pala M, de Vrieze J, Ronsse F, et al. Integrating anaerobic digestion and slow pyrolysis improves the product portfolio of a cocoa waste biorefinery. *Sustain Energy Fuels* 2020;4. <https://doi.org/10.1039/d0se00689k>.
30. Caiardi F, Belaud JP, Vialle C, Monlau F, Tayibi S, Barakat A, et al. Waste-to-energy innovative system: Assessment of integrating anaerobic digestion and pyrolysis technologies. *Sustain Prod Consum* 2022;31. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.03.021>.
31. [48] EU Dairy farms report. Brussel: 2021. Saatavissa: [https://agriculture.ec.europa.eu/system/files/2022-08/fadn-dairy-report-2021\\_en.pdf](https://agriculture.ec.europa.eu/system/files/2022-08/fadn-dairy-report-2021_en.pdf)



## Hämeen ilmastoviisas maaseutu- ja energiayrittäjyys HIME-hanke

HIME hankkeen tavoitteena on pyrkiä osaltaan auttamaan Kanta- ja Päijät-Hämeen maaseudun monipuolisessa ja taloudellisesti kannattavassa kehittämisessä globaalin ilmastohaasteen puristuksessa.

Hanke pyrkii tukemaan Hämeen elinkeinoelämän monipuolistamista erityisesti maaseutuelinkeinojen näkökulmasta metsä-, maatalous- ja energiasektorilla keskipitkällä aikavälillä. Hanke keskittyy eri kokoisiin ja tyyppisiin energiayrittäjyyden malleihin ja vaikutustarkasteluja ja analyysejä tuotetaan ilmaston näkökulmasta.

### HIME

[www.hime.fi](http://www.hime.fi)

Hämeen ilmastoviisas maaseutu- ja energiayrittäjyys (HIME) –hanke tavoittelee maaseutuelinkeinojen monipuolistamista ja arvioi elinkeinotoimintojen ympäristöllistä ja taloudellista kestävyyttä

