



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 26/2026

Nurmibiotalous nyt ja tulevaisuudessa

Asiaa ja arvonlisää ruohonjuuresta biojalostamoihin

Sanna Kykkänen, Marketta Rinne ja Riina Muilu-Mäkelä (toim.)



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 26/2026

Nurmibiotalous nyt ja tulevaisuudessa

Asiaa ja arvonlisää ruohonjuuresta biojalostamoihin

Sanna Kykkänen, Marketta Rinne ja Riina Muilu-Mäkelä (toim.)

**Sanna Kykkänen, Kyösti Ruuttunen, Ville Pyykkönen, Marketta Rinne,
Arja Louhisuo, Vesa Joutsjoki, Terho Hyvönen, Panu Korhonen,
Hanna-Majja Karikallio, Mikko Weckroth, Kimmo Rasa ja Riina Muilu-Mäkelä**

Viittausohje:

Kykkänen, S., Rinne, M. & Muilu-Mäkelä, R. (toim.) 2026. Nurmibiotalous nyt ja tulevaisuudessa : Asiaa ja arvonlisää ruohonjuuresta biojalostamoihin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 26/2026. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 63 s.

Sanna Kykkänen ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0003-3764-0338>



ISBN 978-952-419-176-0 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-176-0>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Sanna Kykkänen, Kyösti Ruuttunen, Ville Pyykkönen, Marketta Rinne, Arja Louhisuo, Vesa Joutsjoki, Terho Hyvönen, Panu Korhonen, Hanna-Maija Karikallio, Mikko Weckroth, Kimmo Rasa ja Riina Muilu-Mäkelä

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2026

Julkaisuvuosi: 2026

Kannen kuva: Luke / Marketta Rinne

Tiivistelmä

Sanna Kykkänen¹, Kyösti Ruuttunen³, Ville Pyykkönen¹, Marketta Rinne², Arja Louhisuo¹, Vesa Joutsjoki², Terho Hyvönen², Panu Korhonen¹, Hanna-Maija Karikallio³, Mikko Weckroth³, Kimmo Rasa² ja Riina Muilu-Mäkelä³

¹ Luonnonvarakeskus, Maaninka

² Luonnonvarakeskus, Jokioinen

³ Luonnonvarakeskus, Helsinki

Maataloudessa ja koko ruokaketjussa on käynnissä siirtymä kohti kestävämpää, resurssitehokkaampaa ja monimuotoisempaa ruokajärjestelmää. Muutos tarvitaan turvaamaan ravinnon saatavuus muuttuvissa olosuhteissa ja sitä vauhdittavat ilmastonmuutos, luonnon monimuotoisuuden väheneminen ja fossiilitaloudesta irrottautuminen. Hyödyntämällä nurmituotannon vahvuudet koko Suomen alueella voidaan tukea muutosta kohti resurssitehokasta ruuantuotantoa. Nurmituotanto tukee mm. EU:n biodiversiteettistrategian (Euroopan komissio 2026) ja biokiertostrategian (Euroopan komissio 2025) toteutumista.

Nurmibiomassalla on merkittävää potentiaalia korkeamman jalostusasteen tuotteiksi. Nurmien arvonnäkö nostaminen biojalostuksella ja uusien toimivien arvoketjujen kehittäminen mahdollistaisivat nurmentuotannon lisäämisen myös viljan viljelyyn keskittyneillä alueilla. Tässä raportissa tarkastellaan nurmen hyödyntämismahdollisuuksia kestävämmässä maataloudessa sekä energian ja biomateriaalien raaka-aineena perinteisen rehukäytön lisäksi. Nurmesta voidaan erottaa proteiinipitoinen jae, joka soveltuu rehuksi paitsi märehtijöille myös yksimahaisten eläinten ja ehkä tulevaisuudessa myös ihmisten ravinnoksi. Nurmien lyhytkuinen kiinteä fraktio puolestaan soveltuu esimerkiksi pakkausmateriaalien valmistukseen.

Nurmikasvit ovat keskeinen osa ruoantuotantoa eläinten rehuna maidon- ja lihantuotannossa. Nurmien merkitys korostuu erityisesti Itä- ja Pohjois-Suomessa, jossa nurmella on hyvät kasvuolosuhteet, mutta suoraan ihmisravinnoksi käytettävien kasvien tuotanto on haastavaa. Etelä- ja Länsi-Suomessa, missä nautakarjatuotanto on vähäisempää, monivuotisten nurmien sisällyttäminen viljelykiertoihin lisäisi ympäristöhyötyjä ja monipuolistaisi viljelyä.

Tässä raportissa arvioidaan erilaisten nurmen prosessointivaihtoehtojen kannattavuutta ja viisioidaan tulevaisuuden mahdollisuuksia nurmien nykyistä monipuolisemmaksi hyödyntämiseksi sekä nurmiin perustuvan elintarviketalouden kestävyysparantamiseksi. Nurmet voivat olla monipuolinen biomateriaalien raaka-aine ja tärkeä osa proteiinipitoista ravintoa – joko eläintuotannon kautta tai jopa suoraan ihmisravinnoksi. Nurmituotannon systemaattista kehittämistä on jatkettava ja innovaatioita otettava käyttöön niin että nurmien potentiaali saadaan täysimääräisesti tukemaan yhteiskunnan hyvinvointi- ja kestävyystavoitteita.

Asiasanat: nurmibiojalostamo, biokaasu, maidon- ja lihantuotanto, arvonnäkö, hiilensidonta, biodiversiteetti, nurmikasvit, viljelytekniikka, innovaatio

Abstract

Sanna Kykkänen¹, Arja Louhisuo¹, Ville Pyykkönen¹, Marketta Rinne², Kyösti Ruuttunen³, Vesa Joutsjoki², Terho Hyvönen², Panu Korhonen¹, Hanna-Maija Karikallio³, Mikko Weckroth³, Kimmo Rasa² and Riina Muilu-Mäkelä³

¹ Natural Resources Institute Finland, Maaninka

² Natural Resources Institute Finland, Jokioinen

³ Natural Resources Institute Finland, Helsinki

Food system must be developed to face the future challenges by utilizing the benefits of grass production throughout the whole Finland. Within agriculture and the whole food chain, a transition towards a more sustainable, resource efficient and versatile food system is ongoing. The transition is required to ensure food supply in the changing conditions, and it is accelerated by climate change, biodiversity loss and need to decouple from the fossil economy. Grass production can support the implementation of EU Biodiversity Strategy for 2030 (European Commission 2026) and A Strategic Framework for a Competitive and Sustainable EU Bioeconomy (European Commission 2025).

Grass biomass has remarkable potential for higher added-value products after biorefining. The development of novel value chains would allow grass production increase also in areas where cereal cultivation currently dominates. This report highlights the potential to utilize grass in sustainable agriculture and as a feedstock for energy and biomaterials in addition to conventional feed use. A high protein fraction can be extracted from grass, that is suitable for monogastric farm animals and even as a food ingredient for human consumption. The fibre fraction of grass could be used to prepare e.g. packaging materials.

Grass-based forages are a central component of the food chain as feeds for ruminants and subsequent milk and meat production. The importance of grass production is particularly high in Eastern and Northern Finland, where opportunities to grow directly human edible crops are limited. In Southern and Western Finland, cattle production is less common, but inclusion of perennial grasses would diversify crop rotations and provide environmental benefits.

This report evaluates the profitability of various processing options of grass and envisages future opportunities to diversify grass utilization and improve the sustainability of grass-based food system. Grass could be a versatile feedstock for biomaterial production and an important part of food protein for humans – either extracted directly or through animal production. The systematic development of grass production and uptake of innovations must be continued, so that the potential of grass biomass can be fully exploited to support the societal targets of welfare and sustainability.

Keywords: green biorefinery, biogas, milk and meat production, added value, carbon sequestration, biodiversity, grass, agronomy, innovation

Sisällys

1. Johdanto	6
1.1. Nurmilla on paljon vahvuuksia	6
1.2. Muutosajurit nurmivision taustalla	6
2. Nurmet vuonna 2050	9
3. Nurmituotannon nykytila	11
4. Kannattavia arvoketjuja nurmesta.....	13
4.1. Nurmibiojalostamosta uusia nurmipohjaisia tuotteita.....	13
4.2. Nurmibiojalostamon kannattavuuden tarkastelu	17
4.2.1. Prosessi	18
4.2.2. Materiaalitase	19
4.2.3. Biojalostamon taloudellisen kannattavuuden suuntaviivoja	23
4.2.4. Johtopäätökset biojalostamon teknistaloudellisesta kannattavuudesta	23
4.3. Energiakäyttö, biokaasu ja kierrätysravinteet	25
4.3.1. Biojalostamon ja biokaasulaitoksen integroitu malli on kannattava.....	32
4.4. Eläintuotannon arvoketjut.....	33
4.4.1. Naudat muuntavat nurmen maidoksi ja lihaksi	33
4.4.2. Hevoset, lampaat ja porot ylläpitävät monipuolista nurmiviljelyä	36
4.5. Nurmiviljely tarjoaa useita ekosysteemipalveluja	37
5. Tulevaisuuden nurmiviljely.....	39
5.1. Viljelytekniset kehityskohteet	39
5.1.1. Viljeltävän nurmilajiston kehitys	40
5.1.2. Nurmen korkea vesipitoisuus ja koostumuksen vaihtelut.....	41
5.1.3. Biologisen typensidonnann haasteet	42
5.1.4. Suureneva tilakoko muuttaa tuotantoa	43
5.1.5. Peltojen vesitalous kuntoon	43
5.1.6. Satotasoja on varaa nostaa.....	44
5.1.7. Karjanlanta ja orgaaniset mädätteet ovat kiinteä osa nurmituotantoa.....	44
5.1.8. Nurmi hyödyntää myös vaikealiukoisia ravinnevarastoja	45
5.1.9. Nurmikierto pidemmäksi	46
5.1.10. Tietoperusteinen nurmitalous – mittauksesta päätöksentekoon.....	46
5.2. Nurmesta säilörehuksi	47
6. Yhteenveto.....	48
Viitteet.....	52
Liitteet	63

1. Johdanto

1.1. Nurmilla on paljon vahvuuksia

Nurmien satovarmuus, suuri biomassan tuotantopotentiaali ja viljelyyn liittyvät ympäristöhyödyt tekevät niistä Suomelle tärkeän viljelykasvin. Nurmet ovat olennainen osa suomalaista maataloutta erityisesti kotieläintuotannon rehupohjana, sillä ne ovat tärkein rehuikasvi naudoille, hevosille ja lampaille. Nurmet tuottavat hyvän sadon myös Suomen pohjoisissa olosuhteissa, joissa monien suoraan ihmisten ravinnoksi käytettävien viljelykasvien tuotannossa on rajoitteita ja kilpailuasema heikko eteläisempiin tuotanto-oloihin verrattuna. Nurmien tuotanto vahvistaa siten kotimaista ruoantuotantoa ja huoltovarmuutta. Nurmiin perustuva kotieläintalous muodostaa 35 % Suomen maataloustulosta, jossa on mukana muun kotieläintalouden, kasvinviljelyn ja puutarhatalouden tulo (Tilastokeskus 2025).

Nurmet tarjoavat merkittäviä ekologisia hyötyjä. Nurmien viljely monipuolistaa viljelykiertoja parantaen maaperän rakennetta ja terveyttä. Nurmet sitovat hiiltä maaperään, mikä auttaa torjumaan ilmastonmuutosta ja edistämään peltojen kasvukuntoa. Nurmipalkokasvien avulla hyödynnetään biologista typensidontaa. Nurmet ehkäisevät eroosiota, parantavat veden imeytymistä ja vähentävät ravinteiden huuhtoutumista vesistöihin. Nurmet hyödyntävät tehokkaasti maaperän ravinteita, esimerkiksi maaperään vuosikymmenten saatossa kertyneitä fosforivarantoja. Monilajiset nurmet, laitumet ja perinnebiotoopit tukevat luonnon monimuotoisuutta tarjoamalla elinympäristöjä hyönteisille, linnuille ja muille eläimille. Perinnebiotoopit ovat Suomen uhanalaisin luontotyyppi.

Nurmituotanto on tällä hetkellä vahvasti sidoksissa karjatalouteen ja keskittyy Keski- ja Pohjois-Suomeen (Leino ym. 2023). Tulevaisuudessa viljely voi laajentua uusille alueille, jos innovatiiviset arvoketjut vahvistuvat ja nurmien monipuoliset hyödyt tunnistetaan laajemmin. Nurmituotannon lisääminen on toteutettavissa, jos maksukykyinen kysyntä uusien käyttötapojen myötä vahvistuu.

Biokierratotalouden prosessien avulla nurmista voidaan tuottaa lisäarvoa kehittämällä innovatiivisia uusia tuotteita. Biometaanin tuotanto, biojalostamot ja nurmien siementuotanto ovat mahdollisuuksia vahvistaa nurmien roolia ympäri Suomea. Kiinnostava esimerkki on nurmi-proteiinin eristys yksimahaisten rehuksi ja mahdollisesti tulevaisuudessa myös ihmisravinnoksi. Proteiinin erotuksessa syntyvä hiilihydraattipitoinen sivujae voidaan hyödyntää esimerkiksi solumaataloudessa proteiinien, rasvojen tai biomateriaalien tuotannossa. Kiinteä kuitufraktio puolestaan soveltuu raaka-aineeksi vaikkapa kuituvalospakkausmateriaaleihin, kasvu-alustaksi, kuivikkeeksi tai energiantuotantoon.

1.2. Muutosajurit nurmivision taustalla

Ilmastonmuutos, luontokato, maatalouden rakennemuutos, huoltovarmuuden turvaaminen, ruokavalioiden kehitys, solumaatalouden nousu, biotalouden vahvistuminen ja tarve korvata fossiilipohjaisia materiaaleja ja energiaa biopohjaisilla vaihtoehdoilla ovat ajureita, jotka haastavat perinteisiä tuotantotapoja ja luovat mahdollisuuksia uusien arvoketjujen syntymiselle. Maapallon kantokyvyn rajat saavutetaan vuosittain yhä aikaisemmin, mikä johtaa haasteisiin ravinnon ja puhtaan veden riittävydessä (Richardson ym. 2023). Muuttuva ilmasto tuo

mukanaan sään ääri-ilmiöitä, kasvitautien leviämistä ja muuttuvia kasvuolosuhteita, jotka vaikuttavat ruoantuotantoon.

Globaalin keskilämpötilan on ennustettu nousevan 0,3–4,8 astetta (Ilmatieteenlaitos 2026). Pohjoisen sijaintinsa vuoksi Suomessa keskimääräinen lämpötilan nousu ylittää globaalin keskiarvon. Myös Suomen sisällä pohjoiset alueet lämpenevät eteläisiä alueita enemmän. Kasvuolosuhteita tulee enenevässä määrin kuvaamaan vaihtelevuus, ääri-ilmiöt ja ennustettavuuden heikentyminen. Tulevaisuuden nurmituotannossa on sopeuduttava kasvuolosuhteiden muuttumiseen.

EU:n biotalousstrategian tavoitteena on vahvistaa kilpailukykyistä ja kestäväää biotaloutta vähentämällä riippuvuutta fossiilisista raaka-aineista, lisäämällä uusiutuvien biologisten resurssien käyttöä sekä edistämällä kiertotaloutta ja ilmastotavoitteiden saavuttamista. Strategia korostaa innovaatioiden skaalaamista, biopohjaisten tuotteiden markkinoiden kehittämistä ja biomassan kestäväää saatavuutta sekä alkutuottajien aseman vahvistamista. Nurmen biojalostus tukee näitä tavoitteita hyödyntämällä paikallista biomassaa lisäarvotuotteiden tuotantoon parantaen resurssitehokkuutta, luoden uusia arvoketjuja ja vähentäen fossiilipohjaisten tuotantopanosten tarvetta (European Commission 2025, Valtioneuvosto 2025, Biotalous.fi 2025).

EU:n ja kansallinen ilmastopolitiikka ohjaavat maataloussektoria toimimaan tavoilla, jotka vaikuttavat nurmentuotannon kannattavuuteen. CAP 2023–2027-kaudella painotetaan ympäristö- ja ilmastotoimia sekä kasvipeitteisyyttä ja monivuotisuutta, mikä parantaa nurmikiertojen asemaa. LULUCF-sääntelyn kiristyminen kohti vuotta 2030 ja EU:n tavoite saavuttaa 310 Mt CO₂-nettonielu korostavat hiiltä sitovien käytäntöjen ja erityisesti turvepeltojen päästövähennysten merkitystä, jossa nurmiviljelyllä ja pysyvillä kasvustoilla on vahva rooli. Suomessa hiilinielun heikentyminen on tehnyt nielutoimista poliittisesti ja taloudellisesti entistä merkittävämpiä (Seppälä ym. 2025), mikä vahvistaa nurmen biojalostuksen ja monivuotisten kasvustojen strategista arvoa osana ilmastokestäväää biotaloutta.

HELCOM (Itämeren suojelukomissio) on hallitustenvälinen yhteistyöelin, joka vastaa Itämeren tilan parantamisesta ja ympäristönsuojelusta. Yksi sen keskeisistä työkaluista on ns. hotspottista, johon kuuluvat alueet, joilla on merkittäviä ympäristöongelmia ja jotka vaativat kiireellisiä toimenpiteitä. Saaristomeren valuma-alueella vesiensuojelutoimet ovat erityisen tärkeitä, sillä tavoitteena on poistaa alue tältä listalta. Nurmiviljely vähentää savimaiden eroosiota ja ravinnekuormitusta sekä monipuolistaa viljelykiertoja. Näillä toimilla parannetaan peltojen kasvukuntoa ja vähennetään ravinnevalumia vesistöihin. Nurmet sitovat tehokkaasti ravinteita, ja parhaillaan Lukessa käynnistyy ympäristöministeriön rahoittama hanke ”Tulosperusteisen tuen pilotointi maatalouden vesiensuojelussa”. Hankkeen kohteena on Saaristomeri, ja nurmen kyky pienentää pellon korkeaa fosforipitoisuutta on yksi keskeinen keino. Nurmi-biojalostamot ratkaisisivat sadon käytön ja loisivat viljelijöille taloudellista motivaatiota tuottaa nurmea myös silloin, kun rehunurmelle ei ole käyttöä.

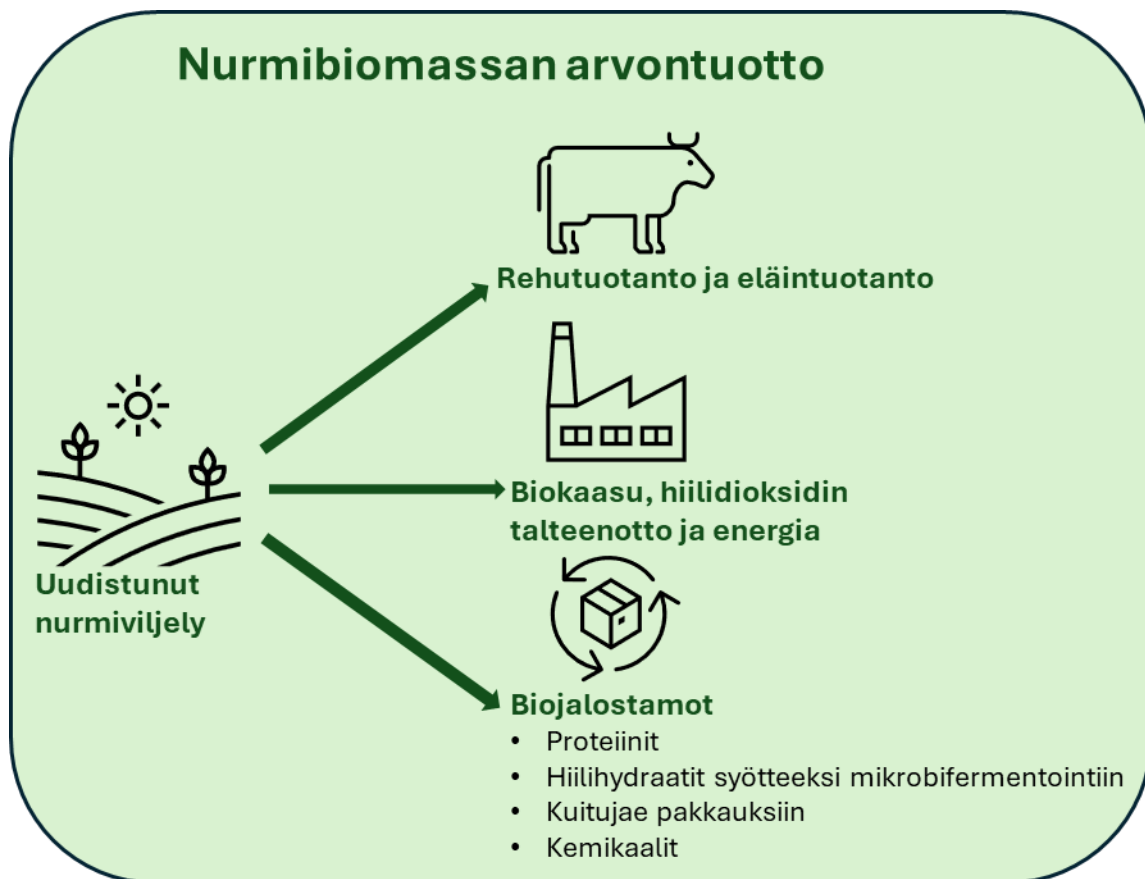
Poliittiset ohjauskeinot, kuten ilmastotiekartta ja biodiversiteettitiekartta, kannustavat nurmiviljelyn lisäämiseen. Ympäristöhyödyt korostavat nurmien roolia kestävään maatalouspolitiikan osana. Kasvuolosuhteet, kotieläintuotteiden kysyntä, huoltovarmuuskriteerit, maataloustuet ja lainsäädäntö asettavat reunaehdot nurmibiotalouden tulevaisuudelle.

Kuluttajien ruokatottumukset ohjaavat maataloustuotteiden kysyntää ja siten myös tuotantoa. Kansallisella tasolla maito- ja lihatuotteiden kulutuksen ennustetaan laskevan. Lihaan ja maitoon suhtaudutaan Suomessa kaikissa ikäluokissa myönteisesti ja tuotannon jatkuvuutta

tulevaisuudessa pidetään tärkeänä (Latvala ym. 2025). Tutkimuksen mukaan nuoret ikäluokat ovat vanhempia ikäluokkia valmiimpia vähentämään eläinperäisten tuotteiden käyttöä ja enemmän huolissaan tuotannon eettisyydestä ja ilmastovaikutuksista. Kuluttajien ruoan ostokriteereissä korostuvat kuitenkin muut valintakriteerit kuin ilmasto tai kestävä tuotanto. Maailmanlaajuisesti maidon- ja lihankulutuksen ennustetaan kasvavan, mikä voi tarjota Suomelle mahdollisuuksia kotieläintuotteiden vientiin.

Nurmibiotalousmerkitys

Tämän nurmibiotalousraportin tavoitteena on selvittää, millaisia uusia arvoketjuja nurmesta on mahdollista muodostaa ja millaisia muutoksia tarvitaan, jotta arvoketjun toteutuminen on mahdollista (Kuva 1). Visioimme, miten nurmien potentiaali voidaan hyödyntää täysimääräisesti osana kestävä, monipuolista ja tulevaisuuteen suuntautuvaa maatalous- ja biotalousjärjestelmää.



Kuva 1. Nurmibiomassan arvoketju jakaantuu kolmeen keskeiseen arvontuotannon linjaan, joita ovat eläintuotanto, biokaasu ja tulevaisuuden biojalostamot. Nämä arvoketjut voivat myös toimia yhdessä. Uudistunut nurmiviljely tukee EU:n ja Suomen asettamia kestävyystavoitteita.

2. Nurmet vuonna 2050

Vuonna 2050 Suomi hyödyntää nurmea monipuolisesti biojalostuksessa, biokaasun tuotannossa ja kiertotalouden ratkaisuisissa, jolloin alueelliset vahvuudet, suljettu ravintokierto ja vihreä energia muodostavat uusia kannattavia arvoketjuja. Suomi on Euroopan johtaja nurmipohjaisessa proteiinintuotannossa ja nurmesta jalostettavat elintarvike-, biokemikaali- ja kuitutuotteet sekä kestävä nurmirehuun perustuva eläintuotanto tukevat sekä ilmastotavoitteita että huoltovarmuutta.

Vuonna 2050 nurmea viljellään laajasti eri puolilla Suomea ja nurmen rooli vaihtelee alueiden vahvuuksien mukaan. Nurmi nostaa asemaansa biojalostuksen, biokaasun tuotannon ja kiertäysravinteiden hyödyntämisen kautta. Uusia arvoketjuja syntyy sekä energiantuotannon että alueellisten biojalostamojen ympärille.

Vuonna 2050 Suomi tunnetaan Euroopan edelläkävijänä nurmipohjaisessa proteiinintuotannossa. Nurmipohjaisten arvoketjujen perustana on ravinteiden ja energian kierto. Kotimaiset biojalostamot tuottavat korkealaatuista proteiinirehua yksimahaisille eläimille korvaten tuontisoijan ja vahvistaen huoltovarmuutta. Nurmikasvien teollinen prosessointi on kehittynyt mahdollistaen erilaisten uusien tuotteiden valmistuksen nurmesta. Innovaatiot ovat synnyttäneet uusia arvoketjuja eläinrehusta ihmisravintoon, biokemikaaleihin ja kuitupohjaisiin tuotteisiin.

Rehuntuotannossa nurmien roolia kasvatetaan entisestään. Suomen nurmipohjainen nautakarjatalous on saanut kansainvälistä tunnustusta kestävyystään ja suomalaiset maito- ja lihajalosteet ovat haluttuja tuotteita maailmanmarkkinoilla. Tuotanto perustuu aidosti nurmirehuun ja ihmisravinnoksi kelpaamattomaan viljaan, palkoviljoihin, öljykasveihin ja erilaisiin maa- ja elintarviketalouden sivuvirtoihin. Biokaasuntuotanto on kiinteä osa arvoketjua. Sen avulla mahdollistetaan ravinteiden entistä parempi kierto ja vihreä energia. Nurmirehuun perustuva ruoantuotanto tukee laajasti huoltovarmuutta.

Suomen vihreä siirtymä on saanut vauhtia nurmesta. Peltopinta-alat hyödynnetään resurssitehokkaasti, hiilensidonta paranee ja maatalouden ilmastovaikutukset pienenevät. Nurmet tukevat maiseman arvoa, maaperän hiilivarastoja, vesien suojelua ja biodiversiteettiä. Biologisen typensidonnan merkitys typenlähteenä on korvannut fossiilienergiaan perustuvia typpilannoitteita. Näille nurmen tarjoamille ekosysteemipalveluille on määritelty markkina-arvo.

Kumppanuudet kansainvälisten tutkimuslaitosten ja yritysten kanssa ovat olleet ratkaisevia teknologian kehityksessä ja siirrossa. Suomi ei ainoastaan seuraa kehitystä, vaan johtaa sitä: nurmesta on tullut strateginen raaka-aine, joka yhdistää taloudellisen kannattavuuden, ilmastohyödyt ja ruokaturvan.

EU:n yhteisessä maatalouspolitiikassa on tunnistettu boreaalisen alueen erityispiirteet ja nurmien kriittinen merkitys osana kestävästä viljelyjärjestelmästä. Nurmet ovat myös nousseet ilmastopolitiikan keinovalikoimaan, jossa pyritään yhdistämään ruokaturva, luonnon monimuotoisuus ja maankäyttösektorin hiilineutraalisuus. Tämä on mahdollistanut pohjoisten alueiden erityisroolin vahvistamisen eurooppalaisessa vihreässä siirtymässä. Samalla Suomen

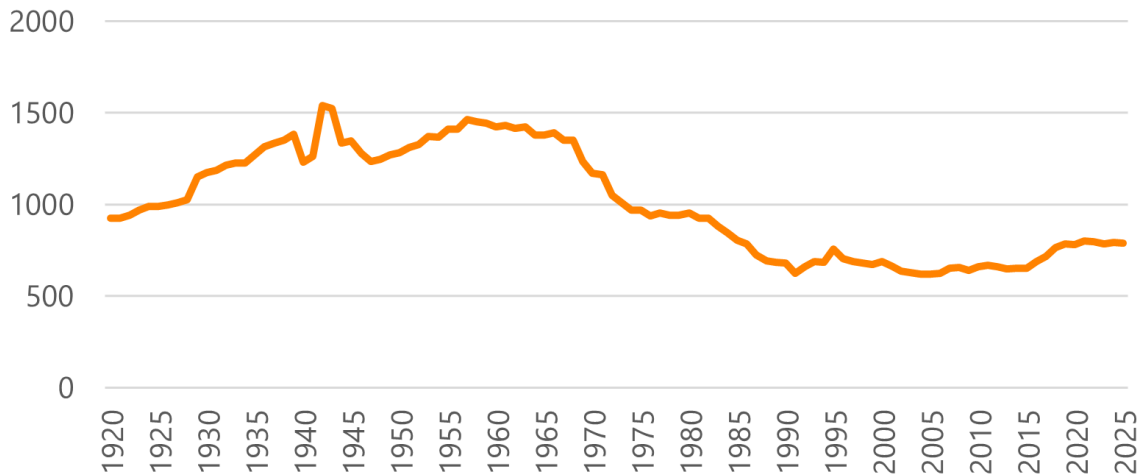
ruokaviennin arvonlisä on kasvanut, kun kotimainen nurmeen perustuva eläinproteiini on asemoitu kansainvälisillä markkinoilla korkean ympäristövastuun tuotteeksi.

Alueellinen resurssiepätasapaino nurmen saatavuuden ja ravinnehuollon osalta on tunnistettu ja siihen on puututtu kohdennetuin politiikkatoimin. Pitkäjänteisten ja ennustettavien logistiikkatukien avulla on tasattu erikoistuneiden eläin- ja kasvinviljelyalueiden välistä biomassavirtaa, jolloin esimerkiksi nurmirehun, lantapohjaisten kierrätyslannoitteiden ja biojalosteiden siirto on tullut kannattavaksi. Samalla tekoälyä hyödyntävät optimointialustat ovat mahdollistaneet reaaliaikaisen, alueellisesti skaalautuvan resurssienhallinnan – yhdistäen tietoa satopotentiaalista, kuljetuskapasiteetista ja tuotantotarpeista. Tämä on vahvistanut kokonaisuudessaan maatalouden biokiertoa, vähentänyt ravinneylijäämiä ja parantanut nurmen tuotannon kokonaisyhyötystä Suomessa.

Nurmituotannon moniarvoisuus, rehusta biojalosteeksi ja ympäristöhallinnan välineestä kulttuurimaisemaksi, on tunnistettu ja hyödynnetty eri toimijoiden yhteistyön kautta. Nurmi ei ole enää vain tuotantopanosten osa, vaan strateginen resurssi energiaa ja raaka-aineita, jolla rakennetaan ravinnontuotannon ja biotalouden resilienssiä muuttuvassa maailmassa. Nurmen biojalostus, arvonlisän luominen ja uudet toimivat arvoketjut ovat keskeinen mahdollistaja nurmentuotannon lisäämiseksi myös alueilla, joilla nurmia ei tuoteta rehuksi. Vision toteutuminen edellyttää pitkäjänteisestä tutkimusta, politiikkaohjausta ja käytännön viljelyn kehitystä.

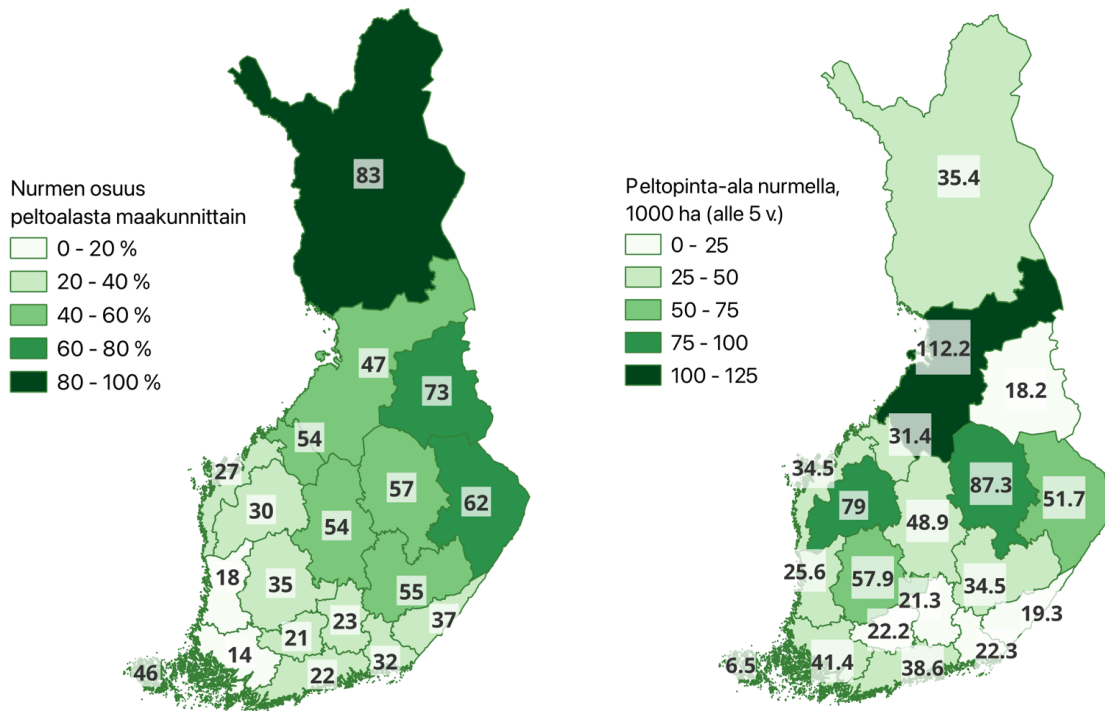
3. Nurmituotannon nykytila

Suomessa on nurmia noin 800 000 ha (Luonnonvarakeskus 2025a). Nurmisato vuosittain on n. 8 miljoonaa kuiva-ainetonna säilörehua (Luonnonvarakeskus 2025b). Tämän lisäksi korjataan noin 0,3 miljoonaa kuiva-ainetonna kuivaheinää. Maatalouden rakennekehityksen myötä pellonkäyttö on muuttunut ja nurmiala vähentynyt merkittävästi 1960-luvulta nykypäivään. Nykyään noin 40 % Suomen peltoalasta on alle viisivuotisia nurmia, kun korkeimmillaan 1930–1960-luvuilla 55–60 % peltoalasta oli nurmea (Kuva 2).



Kuva 2. Nurmialan (1 000 ha) kehitys Suomessa (Luke 2026a).

Maatalouden rakennemuutos tarkoittaa sitä, että maatilojen määrä vähenee, tilakoko kasvaa ja tuotanto keskittyy yhä harvemmille, suuremmille ja erikoistuneemmille tiloille. Muutos johtuu taloudellisista paineista, teknologian kehityksestä ja maatalouspolitiikan vaikutuksista. Rakennemuutos näkyy käytännössä tilojen määrän laskuna, tuotannon ja tilakoon keskittymisenä, työn siirtymisenä perheviljelmistä kohti yritysmäisempiä tuotantomalleja sekä tilojen roolin monimuotoistumisena esimerkiksi palvelu- tai bioenergiayrittämisen kautta. Kehityksellä on merkittävä vaikutus myös nurmituotannon rakenteeseen ja tulevaisuuteen.



Kuva 3. Nurmialan osuus maakuntien peltopinta-alasta ja nurmien viljelyala maakunnissa tuhansina hehtaareina.

Maataloustuotanto ja sen myötä nurmiviljely on tällä hetkellä vahvasti alueellistunutta. Nurmituotanto on painottunut Itä-, Keski-, Pohjois-Suomeen nautakarjatalousalueille, joilla muu kasvintuotanto on nurmituotantoon nähden heikosti kannattavaa kasvuolosuhteista (kasvu-kauden pituus, lämpösummakertymä) johtuen (Kuva 3). Nurmien rooli yksivuotisten kasvien pääasiallisilla viljelyalueilla Etelä- ja Länsi-Suomessa on lähinnä yksivuotisten kasvien alus- ja kerääjäkasveina sekä kesanto- tai luonnonhoitonurmia.

Nurmet ovat tyypillisesti lyhytikäisiä (alle viisivuotisia). Pysyviä eli yli viisivuotisia nurmia on Suomessa vain noin 1 % peltopinta-alasta (Luke 2026a). Nurmet uudistetaan heikentyvän sadon, rikkakasvien ja talvituhojen vuoksi keskimäärin 4,4 vuoden välein (Virkajärvi ym. 2015, Nissinen & Hakkola 1995). Valtaosa (noin 75 %) Suomen nurmista korjataan säilörehuksi, joka on suomalaisten nautojen perusrehu. Säilörehunurmi kattaa noin 55 % lypsävien lehmien kuiva-ainesyönnistä (Korhonen 2025) ja kasvavien lihanautojen kasvatuksessa noin puolet. Laidunnurmien osuus Suomessa on noin 8 % lyhytikäisten nurmien pinta-alasta. Lypsylehmien kuiva-ainesyönnistä vain alle 1 % koostuu laidunnurmesta (Korhonen 2025). Laidunnuksen vähenemisen taustalla ovat tilakoon kasvu ja robottilypsyn yleistymisen. Tavanomaisessa tuotannossa nurmenviljely on vahvasti riippuvainen teollisista typpilannoitteista. Keskimäärin nurmet saavat suomessa 155 kg liukoista typpeä/ha. Osa tyyppistä tulee karjanlannasta. Nitraattiasetuksessa korkein sallittu määrä on liukoiselle tyypelle 250 kg/ha/v (VN 1250/2014). Kokonaistyyppistä karjanlannasta saa tulla korkeintaan 170 kg N/ha/v.

Markkinat ja maataloustuet ohjaavat tuotantoa: Suomen nurmituotannolle leimallista on alhainen intensiteetti. Maatilojen nurmisadot ovat keskimäärin noin 70 % potentiaalisesta sadosta. Suuri satokuilu johtuu pääasiassa rehuntarpeeseen nähden suuresta peltopinta-alasta. Osaltaan alhaisen intensiteetin viljelyä pitävät yllä hehtaariperusteiset tuet. Nurmirehua ei tyypillisesti tuoteta myytäväksi tilan ulkopuolelle korkeiden kuljetuskustannusten vuoksi.

4. Kannattavia arvoketjuja nurmesta

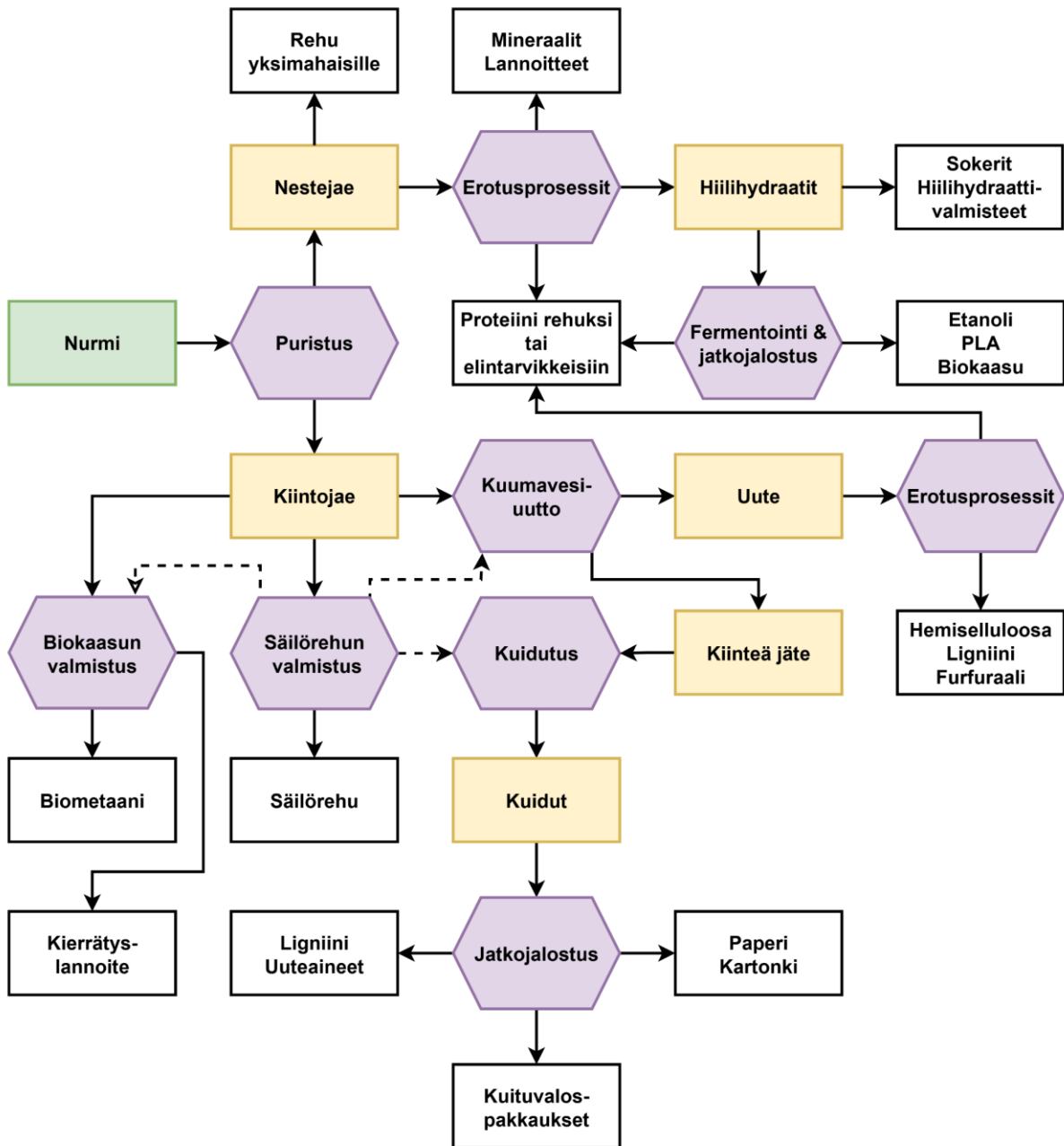
Perinteisesti nurmen biojalostus on toteutunut eläinperäisen tuotannon kautta, jossa märehitjät toimivat biologisina prosessoreina muuntaen nurmibiomassan lihaksi ja maidoksi. Nurmea on käytetty bioenergian tuotantoon ja maanparannukseen erityisesti biokaasuprosessin kautta, mutta tällöin nurmen monipuolinen koostumus ja potentiaali raaka-aineena biopohjaisia syötteitä käyttävälle teollisuudelle jää hyödyntämättä. Eläintuotannon ohella nurmi nähdään yhä useammin monipuolisena raaka-aineena teollisessa biojalostuksessa, jossa se voidaan fraktoida erilaisiksi proteiini-, kuitu- ja nestemäisiksi jakeiksi sekä hyödyntää energiantuotannossa biokaasulaitoksissa. Biomassaa tuotteiksi prosessoiva biojalostamo nähdään tällä hetkellä lupaavana keinona ottaa talteen ja jatkojalostaa nurmesta saatavia biokomponentteja sekä taloudellisesti kannattavasti että ympäristön ja ilmaston kannalta kestävästi Euroopan vihreän kehityksen ohjelman (The European Green Deal) ja kiertotalouden toimintasuunnitelmaan (EU Circular Economy Action Plan) periaatteiden mukaisesti. Tämä monikanavainen hyödyntäminen laajentaa nurmen roolia osana kestävästä ruokajärjestelmästä ja biokiertoa.

4.1. Nurmibiojalostamosta uusia nurmipohjaisia tuotteita

Nurmesta voi tulla tärkeä osa Suomen proteiiniomavaraisuutta ja kestävästä ruokajärjestelmästä. Uusi teknologia, jossa nurmikasvien rakenne hajotetaan korkeassa lämpötilassa ja paineessa, vapauttaa proteiinin ja kuidun erilleen mahdollistaen kotimaisen proteiinirehun, joka korvaa soijarouheen ja vähentää tuontiriippuvuutta. Tämä ei ole enää pelkkä visio. Euroopassa nurmibiojalostus on edennyt tutkimusvaiheesta pilotoituun ja demonstraatiotason toimintaan, mutta laajamittaista teollista tuotantoa ei ole vielä syntynyt. Keskeisiä kehitysalustoja ovat Aarhusin yliopiston pilotti- ja demomittakaavan laitokset (AU Foulum/Viborg, Tanska), joissa tuotetta nurmibiomassaa jalostetaan jatkuvatoimisesti proteiini, kuitu ja nestemäisiin jakeisiin teollisesti skaalautuvalla laitteistolla. Näitä pidetään Euroopan pisimmälle vietyinä nurmibiojalostuksen demonstraatioympäristöinä (Ambye-Jensen 2018). Green Valleys -hanke on ruotsalais-tanskalainen yhteistyö, jossa toimii kaksi demonstraatiotason laitosta, tutkimuspainotteen Tanskassa ja maatilamittakaavan pilotti Ruotsissa (<https://greenvalleys.eu>). Hanke on osoittanut teknisen toimivuuden ja potentiaalisen nurmiproteiinin tuotannon, mutta toiminta on yhä julkisesti rahoitettua demonstraatiota eikä itsenäistä teollista tuotantoa. Gotlannin vihreä teollinen symbioosipuisto puolestaan on strateginen suunnittelu ja tiekarttahanke, jossa nurmibiojalostus nähdään osana tulevaa kiertotaloutta ja bioenergiaklusteria, mutta varsinaista tuotannollista biojalostamoa ei ole vielä rakennettu (IVL Swedish Environmental Research Institute 2020). Suomessa nurmibiojalostamokonseptia on pilotoitu tutkimushankkeissa (mm. Franco ym. 2019, Savonen ym. 2020, Keto ym. 2021, Innofeed 2018). Kokonaisuutena Euroopan nurmibiojalostus on tällä hetkellä demonstraatiovaiheen ja varhaisen kaupallistamisen rajapinnassa. Teknologia on suurelta osin testattu ja skaalattavissa, mutta täysimittaiset markkinaehtoiset teolliset laitokset ovat vielä toteutumatta. Seuraava askel on siirtyä kohti kannattavaa teollista tuotantoa.

Tässä työssä tarkastellaan nurmen prosessointivaihtoehtojen taloudellista kannattavuutta Suomessa teknoekonomisen analyysin avulla (Kuva 4). Laskelmissa vertaillaan eri skenaarioita: miten kannattavaa nurmen hyödyntäminen biomateriaaleiksi voisi olla, ja mitä muutoksia

tarvitaan, jotta prosessointi olisi taloudellisesti järkevää. Nykytilanteessa nurmi tuotetaan pääasiassa rehuksi tai hyödynnetään biokaasuprosessissa yhdessä lannan kanssa.



Kuva 4. Nurmibiojalostamot prosessoivat nurmesta monenlaisia tuotteita. Katkoviivat kuvaavat vaihtoehtoista reittiä, jossa säilörehuna varastoitavaa kiintojaetta voidaan käyttää myös biokaasuprosessin tai kuidunvalmistuksen raaka-aineena.

Nurmen fraktioinnissa ensimmäisenä vaiheena on erottaa proteiinipitoinen nestefraktio ja kuitupitoinen kiintoainefraktio; tähän käytetään yleensä mekaanisia rakenteen rikkomistapoja, kuten jauhamista ja puristamista. Nestefraktion sisältämä proteiini koostuu pääasiassa viherhiukkasten lipoproteiineista, jotka soveltuvat rehujen täydennysaineiksi, sekä sytoplasmien proteiineista, joilla on potentiaalia myös elintarvikekäytössä (Pojic ym. 2018, Ravindran ym. 2021). Proteiinien lisäksi nestefraktio sisältää sokereita ja muita vesiliukoisia hiilihydraatteja, vapaita aminohappoja, vitamiineja, mineraaleja ja rasva- sekä orgaanisia happoja.

Monipuolisen koostumuksen vuoksi nurmen nestefraktio voi toimia useiden jatkojalostettavien yhdisteiden (platform chemicals) lähteenä erilaisiin käyttötarkoituksiin.

Fysikaalisilta ominaisuuksiltaan soveltuvia elintarvikekelpoisia proteiineja voidaan hyödyntää vaahtojen, geelien ja emulsioiden valmistuksessa (Møller ym. 2021). Kotimaisessa tutkimuksessa vihreästä biomassasta puristetuissa mehuissa oli monenlaisia elintarvikekäytön kannalta kiinnostavia toiminnallisia ja bioaktiivisia ominaisuuksia (Pap ym. 2024). Hiilihydraateista voidaan valmistaa makeuttajia, ravintokuituja ja hyödyllisten suolistomikrobien kasvua edistäviä prebiootteja (Kromus ym. 2005). Iminosokereilla on todettu tulehdusta estävä vaikutus kystinen fibroosi -keuhkosairaudessa (Esposito ym. 2020). Elintarviketuotteiden lisäksi nurmen nestefraktiosta löytyy mahdollisia fossiilisia raaka-aineita korvaavia biokomponentteja. Fruktani-sokereista voidaan tuottaa furfuraaleja kemianteollisuudelle, orgaaniset hapot kuten palmitiini-, linoleeni- ja linoleiinihappo ovat kosmetiikkateollisuudelle tärkeitä yhdisteitä (Kromus ym. 2005, Thomsen ym. 2005). Erityisesti maitohappofermentaatiolla valmistetun säilörehun nestefraktiosta saadaan maitohappoa, jota hyödynnetään elintarvike-, lääke- ja kosmetiikkateollisuuden lisäksi biohajoavien muovien raaka-aineena korvaamaan fossiilisia muovin raaka-aineita (Ferreira ym. 2011). Nurmen biokaasuprosessin tuloksena syntyy metaanin lisäksi haihtuvia rasvahappoyhdisteitä (VFA), kuten etikka-, propioni-, valeriana- ja voi-happoa, jotka voivat toimia välituotteina biomuovien ja biokomposiittien tuotannossa (Cerrone ym. 2014).

Nurmen kuitufraktio koostuu pääasiassa selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä. Nurmesta eristettyjä kuituja on hyödynnetty eriste- ja pakkausmateriaaleissa, kasvintuotannossa taimien kasvatusalustana, paperin ja sellun valmistuksessa, rakennuslevyissä sekä erilaisten komposiittien valmistusmateriaalina (Kromus ym. 2004). Suomessa kuitua on perinteisesti eristetty metsätaloudessa tuotetavasta puuraaka-aineesta, mutta EU:n ilmasto- ja ympäristöpoliittiset tavoitteet (erityisesti LULUCF- ja ennallistamisasetus) voivat luoda haasteita puukuidun riittävyydelle erilaisiin teollisiin tuotantotarpeisiin. Nurmikuitu voisi joissakin vähemmän jatkojalostusta vaativissa tuotteissa, kuten kuituvalospakkauksissa, olla vaihtoehtoinen materiaali puukuidun sijaan. Tuotevalmistuksen lisäksi kuituja voidaan erilaisilla hydrolyysimenetelmillä purkaa pienemmiksi rakenteiksi ja lopulta selluloosasta ja hemiselluloosasta saataviksi di- ja monosakkarideiksi, jotka ovat potentiaalisia platform-komponentteja biopohjaisien tuotteiden valmistajille ja jalostajille.

Nurmen hyvä saatavuus, monipuolinen koostumus ja prosessoinnin kautta avautuvat tuotestamismahdollisuudet ovat nostaneet nurmibiojalostamon intensiivisen tutkimuksen kohteeksi. Tutkimuksen tuloksena on syntynyt pilottimittakaavan prosesseja sekä yritystasolla tuotantoon otettuja tuoteratkaisuja, joita on listattu taulukossa 1.

Taulukko 1. Nurmen biojalosteista kaupalliselle tasolle tuotteistettuja valmisteita, jotka ovat markkinoilla.

Tuoteryhmä	Tuote	Valmistaja	Kuvaus
Proteiinit ja elintarvikeainesosat	GreenLeaf™ Protein Concentrate	Danish Green Protein ApS (Tanska)	Apilasta ja nurmirehumehesta valmistettu proteiinikonsentraatti eläinten ja mahdollisesti ihmisten ravitsemukseen.
	RubiPro™ (RuBisCO-proteiini-isolaatti)	FoodSolutionsTech Inc. (konseptuaalinen, elintarviketeknologiayritys)	Korkealaatuinen kasviproteiini, joka uutetaan ruohon lehdistä.
	BioAlfalfa™ Protein Feed	AlfaLaval BioProducts (Ruotsi)	Eläinrehuksi tarkoitettu proteiinikonsentraatti sinimailasesta.
Biokemikaalit ja biopohjaiset väliaineet	GrassPure™ Lactic Acid	Corbion (Alankomaat)	Vihreän mehun fermentoinnista saatua maitohappoa bioplastien ja elintarvikkeiden tuotantoon.
	Ecovio®	BASF (Saksa)	Polylaktidihappopohjainen biopolymeri, tuotettu fermentoinnilla.
	EcoSucc™ Succinic Acid	BioAmber (Kanada)	Vihreä meripihkahappo, tuotettu ruohon kuitumassan fermentoinnista.
	PLAgrass™ Bioplastic Resin	NatureWorks LLC (USA)	PLA-muovihartsia, valmistettu vihreästä biomassasta tuotetusta maitohapposta.
Bioenergia ja polttoaineet	BioGasNOW™ (paineistettu bio-kaasu)	Nature Energy (Tanska)	Biokaasua, joka on tuotettu ruohon ja lannan anaerobisessa mädätyksessä.
	H2Grass™ Biohydrogen	HyBioTech AG (konseptuaalinen vihreän vedyn startup)	Mikrobipohjainen vedyn tuotanto ruohosta valmistetusta hydrolysaatista.
	GrassPellet™ Biofuel Briquettes	AgriTech Pellets Ltd. (Iso-Britannia)	Kiinteää polttoainetta, joka on valmistettu kuivatusta nurmikuitujätteestä.
	GreenFuel™ Ethanol	Clariant Sunliquid® (Saksa)	Toisen sukupolven selluloosaetanolia nurmimassajäännöksistä.
Materiaalit ja kuidut	CelluGreen™ Biopulp	UPM Biochemicals (Suomi)	Selluloosamassaa ruohosta paperiin, pakkauksiin tai tekstiileihin.
	Gramitherm®	Gramitherm Europe SA (Belgia)	Lämpöeristelevyjä, jotka valmistetaan ruohon kuituista.
	EcoFibra™ Natural Fiber Mat	HempFlax (Alankomaat)	Luonnonkuitulevyjä (mm. ruohokuitu), käytetään ajoneuvo- ja rakennuskomposiiteissa.
Maatalous ja maaperä	BioFertGrass™ Liquid Fertilizer	Yara International (Norja)	Nesteväkilannoite, joka sisältää typpeä ja orgaanista ainesta (mädätysjäännöstä).
	AgroBoost™ Grass Digestate Pellets	Envitec Biogas AG (Saksa)	Pelletöity orgaaninen lannoite ruohon mädätysjäännöksestä.
Eläinrehutuotteet	FermCake™ Protein-Rich Feed Cake	Duynie Group (Alankomaat)	Nurmirehumehun fermentoinnin sivutuote, proteiinipitoinen rehu märehitjille.
	Silagreen™ Fermented Grass Juice	Biotol® / Lallemand Animal Nutrition	Fermentoitu säilörehulisä, joka on rikastettu vihreällä proteiinilla.

Nurmen tuotannolla saatavat myönteiset ympäristövaikutukset ja rehukäytön ylittävät sadot ovat luoneet perustan koko arvoketjun mittaiselle ympäristöystävälliselle biojalostamoprosessille, joka lähtee kestävästä nurmiraaka-aineen tuotannosta ja jatkuu täydellistä materiaali-kiertoa tukevan biojalostuksen kautta väli- ja lopputuotteisiin, joilla voidaan korvata energiantensiivisiä valmistustapoja ja fossiilisia raaka-aineita vaativia teollisia tuotteita. Runsaan ja helposti saatavilla olevan biomassaraaka-aineen prosessointi tuotteiksi biopohjaisilla jalostusmenetelmillä on erinomainen tapa kehittää energia- ja resurssitehokkuutta, mutta kokonaisvaltaisen ympäristökestävyyden ja taloudellisen kannattavuuden varmistamiseksi teknologiseen kehittämiseen on syytä kytkeä mukaan tapauskohtainen ympäristöarviointi ja teknistaloudellinen selvitys.

4.2. Nurmibiojalostamon kannattavuuden tarkastelu

Tässä kappaleessa esitämme laskelmat, joilla olemme pyrkineet arvioimaan nurmesta valmistettaville tuotteille teknistaloudellista kannattavuutta. Tarkastelualueeksi valitsimme Varsinais-Suomen, jossa lihan ja maidon tuotanto ei ole yhtä merkittävä osa maataloutta kuin Pohjois- ja Itä-Suomessa, mutta jossa on suuri nurmen tuotantopotentiaali esimerkiksi viljelykierron monipuolistamisen tarpeen takia. Koska nurmen tuotanto on tällä hetkellä keskittynyt erityisesti lihantuotantoalueille, nurmesta tuotettua arvonlisää kaivataan erityisesti viljantuotantoalueille, jotta nurmituotanto olisi viljelijöille myös taloudellisesti houkutteleva vaihtoehto. Tuore nurmi pilaantuu herkästi mikrobitoiminnan seurauksena ja sitä on saatavilla vain muutamana kesäkuukauden ajan, minkä vuoksi nurmen säilöminen biojalostamoa varten on käytännössä välttämätöntä. Onkin realistista ajatella, että nurmibiojalostamon raaka-aineena käytetään joko säilörehua tai kuivattua nurmea tuoreen raaka-aineen sijaan, jolloin biojalostusprosessia voidaan hyödyntää ympäri vuoden. Tässä tarkastelussa päädyttiin laskelmien pohjaksi valitsemaan kuivattu nurmi (heinä), joka on stabiili raaka-aine ja jossa proteiinifraktion muutokset säilönnän aikana ovat pienempiä kuin säilörehussa. Ayanfe ym. (2025) osoittivat, että proteiinin saanto kostutetusta kuivasta heinästä oli suurempi kuin tuoreesta ruhosta. Taulukossa 2 on yhteenveto nurmen tämän hetken viljelyalasta ja arvioidusta tuotantomäärästä Varsinais-Suomessa.

Taulukko 2. Arvio nurmen tuotannosta Varsinais-Suomessa vuonna 2024 perustuen Luonnonvarakeskuksen tilastoihin (Luke 2026a). ET=ei tietoa, t=tonni, ka=kuiva-aine, ha=hehtaari, a=vuosi.

	Ala, 1 000 ha	Osuus, %	Keskisato, t ka/ha a	Sato, t ka/a
Viljelty peltopinta-ala	255,3	100	ET	ET
Nurmen pinta-ala*	63,5	24,9	4,552	289 075

*Sisältäen nurmet alle ja yli 5 v., luonnonhoitopellot ja viherlannoitusnurmet.

Esitettyyn nurmen satomäärään perustuen arvioimme, että nurmen tuotannosta reilu kolmasosa, eli 100 000 t kuiva-ainetta (ka) vuodessa olisi käytettävissä nurmibiojalostamon raaka-aineeksi. Käytetyllä keskimääräisellä nurmihehtaarin kuiva-ainesadolla 4 552 kg/ha tämä tarkoittaa n. 22 000 hehtaarin alaa. Laskelmien pohjana käytetyn nurmiraaka-aineen koostumus on esitetty taulukossa 3. Tulevaisuudessa, nurmibiomassantuotantoa biojalostamoita ja uusia arvoketjuja varten, tarvitaan tuotannonmuutoksia. Nurmibiomassan tuotantoa ei-nautakarja-alueilla voitaisiin edistää esimerkiksi nautakarjan (erityisesti maidontuotannossa) rehuannoksen nurmivaltaistamisella. Tämä vähentäisi rehuviljan viljelyn pinta-alan tarvetta, mikä

vapauttaisi peltoalaa vilja-alueilta nurmen tuotantoon. Myös keskimääräisen nurmisadon nosto tai/ja nykyisen käyttötarkoituksen väheneminen (esim. kotieläimiä jatkossa vähemmän) voivat lisätä nurmibiomassaa muuhun kuin rehukäyttöön.

Taulukko 3. Nurmiraaka-aineen tuorekoostumus, sisältäen 50 % puna-apilaa ja 50 % heinä-nur-mikasveja (Franco ym. 2019, Rinne ym. 2022, Pap ym. 2024, Rinne ym. 2024). p-%=painopro-senttia.

	Määrä	Yksikkö
Massa	100 000	t (ka)/a
Kuiva-ainepitoisuus	16,0	p-%
Tuoremassa	625 000	t/a
Raakavalkuainen	17 167 (1,72)	t/a (p-% ka)
Tuhka	10 267 (1,03)	t/a (p-% ka)
Muu kuiva-aine	72 566 (7,26)	t/a (p-% ka)
Vesi	525 000	t/a

Tarkastelussamme oleva nurmibiojalostamo tuottaisi proteiinia rehuksi ja mahdollisesti ihmis-ravinnoksi, sekä nurmikuitua pakkausmateriaalien valmistukseen. Tällaisen tuotantolaitoksen kannattavuudelle on hyvin tärkeää, että käyttöaste on mahdollisimman suuri. Toisin sanoen, tuotannon täytyy jakautua mahdollisimman tasaisesti koko vuoden ajalle.

Tuoreesta nurmesta voidaan puristaa nestettä erilleen kiintoaineesta. Tämä neste sisältää liuennutta proteiinia, joka voidaan erottaa saostamalla. Säilörehun valmistus perustuu pH:n alentamiseen säilyvyyden parantamiseksi. Näissä olosuhteissa proteiinit hydrolysoituvat aina-kin osittain aminohapoiksi ja lyhytketjuisiksi peptideiksi. Tällöin proteiinien rakenne muuttuu ja ne pysyvät liukoisessa muodossa. Proteiinin erottaminen saostamalla ei siksi onnistu säilö-rehusta puristetusta nesteestä.

Kun nurmi kuivataan, proteiinien rakenne ei merkittävästi muutu, joten oletamme että prote-iini on saostettavissa. Tarkastelemmekin vaihtoehtoa, jossa nurmibiojalostamon raaka-ai-neena on kuivattu nurmi.

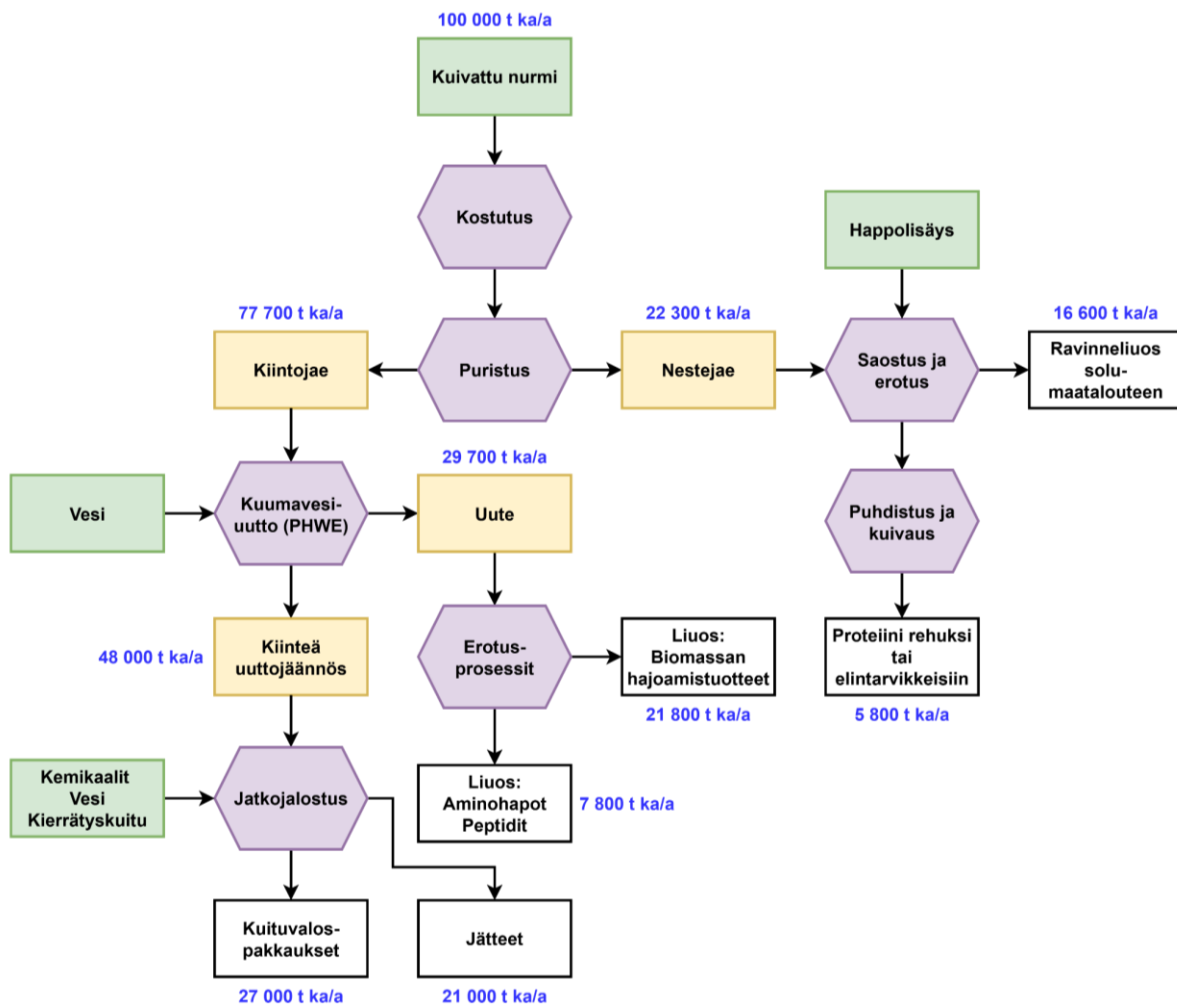
4.2.1. Prosessi

Biojalostamon raaka-aineeksi tarkoitettu nurmi niitetään ja esikuivataan pellolla. Tämän jäl-keen nurmi paalataan ja paalit kuivataan heinäkuivurissa. Raaka-aineen kuiva-ainepitoisuuden vaihtelusta ja mahdollisuuksista sen optimointiin kerrotaan tarkemmin luvussa 5.1.2

Varsinainen biojalostusprosessi (ks. Kuva 5) alkaa kuivatun nurmen kastelulla (25 % ka). Tä-män jälkeen neste erotetaan puristamalla, ja seuraavassa vaiheessa nestejakeessa oleva pro-teiinituote voidaan saostaa. Saostettu proteiini voidaan vielä puhdistaa ja kuivata. Saostuksen jälkeen nesteeseen jää vielä liuenneita proteiiniyhdisteitä ja sokereita sekä muita liukoisia or-gaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä. Tällainen liuos voisi sopia raaka-aineeksi solumaatalou-teen.

Raaka-aineen puristuksen ja nestejakeen erotuksen jälkeen syntynyt kiintojake etenee paineis-tettuun kuumavesiuuttoon (pressurised hot water extraction, PHWE). Tähän vaiheeseen

lisätään vettä ja lämpötila nostetaan 160 °C:een 60 minuutiksi. PHWE-vaiheen yhteydessä osa kiintojakeessa olevista proteiineista liukenee.



Kuva 5. Ehdotetun nurmibiojalostamon yksinkertaistettu prosessikaavio. Pääraaka-aineet vihreissä suorakulmioissa, prosessivaiheet violeteissa kuusikulmioissa ja lopputuotteet valkoisissa suorakulmioissa. Siniset luvut edustavat raaka-aineesta peräisin olevan kuiva-aineen arvioitua vuosituotantomääriä kussakin prosessivaiheessa (pyöristettynä lähimpään sataan tonniin). PHWE=pressurised hot water extraction = paineistettu kuumavesiuutto. Tarkemmat tiedot materiaalitaseesta löytyvät alaluvusta "Materiaalitase".

Kiinteä uuttojäännös kuidutetaan ja kuidut puhdistetaan jatkojalostusvaiheissa. Kuituja voidaan käyttää mm. kuituvalospakkausten raaka-aineena. Tutuin esimerkki kuituvalospakkauksesta on kananmunakenno, mutta tällaisia pakkauksia voidaan käyttää myös esimerkiksi elektroniikkatuotteiden suojapakkausten valmistukseen. On oletettavaa, että nurmikuitu on sekoitettava esimerkiksi kierrätyspaperikuituun (esim. 50:50-suhde), jotta voidaan valmistaa tarpeeksi korkealaatuisia pakkauksia (Vural Gursel ym. 2020).

4.2.2. Materiaalitase

Nurmen alkuperäinen kuiva-ainepitoisuus (kap) on 16 %. Nurmi esikuivataan pellolla 65 % kap:een ja paalataan kuljetusta varten. Tämän jälkeen paalit viedään kuivuriin, jossa kuivaus tehdään lopulliseen kap:een, 86 %. Kun tavoitteena on korjata nurmea 100 000 t ka/a, vuositasolla kuivureissa haihdutettaisiin 37 567 tonnia vettä.

Kuivattu nurmi kuljetetaan biojalostamoon, jossa se kostutetaan 25 % kap:een. Kostutetun nurmen koostumus on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Biojalostamon raaka-aineen, kostutetun nurmen, koostumus ennen nesteen puristamista.

	Määrä	Yksikkö
Massa	400 000	t/a
kap	25	p-%
ka	100 000	t/a
Saanto	100	% ka
Proteiini (CP)	17 167	t/a
Tuhka	10 267	t/a
Muu kuiva-aine	72 567	t/a
Vesi	300 000	t/a

Kostutettu nurmi käsitellään aiemmin esitetyn prosessikaavion mukaisesti (Kuva 5). Materiaalitase on esitetty kootusti taulukossa 5. Laskentaperusteet esitetään yksityiskohtaisesti taulukkoa seuraavassa tekstissä.

Taulukko 5. Koottu materiaalitase nurmiraaka-aineen prosessoinnista.

A. Kostutetun nurmen puristus ja proteiinin saostus nestejakeesta

	Kostutettu nurmi	Puristus		Proteiinin saostus ⁽¹⁾	
		Kiintojake	Nestejake	Proteiinisakka	Liuos
Massa, t/a	400 000	146 800	253 200	7 190	253 475
Kuiva-ainepit., p-%	25	53	8,8	80	6,5
Kuiva-aine (ka), t/a	100 000	77 676	22 324	5 752	16 571
Saanto, % ka	100	78	22	6	17
Proteiini (CP), t/a	17 167	11 757	5 410	2 705	2 705
Tuhka, t/a	10 267	6 356	3 910	715	3 196
Muu kuiva-aine, t/a	72 567	59 563	13 004	2 333	10 671
Vesi, t/a	300 000	69 124	230 876	1 562	236 903

B. Kiintojakeen kuumavesiuutto ja pakkausten valmistus (ES=ei saatavilla)

	Kuumavesiuutto		Pakkausten valmistus	
	Kiinteä	Uute	Kuituvalos	Jäte
Massa, t/a	ES	ES	ES	ES
Kuiva-ainepit., p-%	ES	ES	ES	ES
Kuiva-aine (ka), t/a	47 996	29 680	27 000 ⁽²⁾	20 996 ⁽²⁾
Saanto, % ka	48	30	27	21
Proteiini (CP), t/a	3 919	7 838	ES	ES
Tuhka, t/a	3 027	3 329	ES	ES
Muu kuiva-aine, t/a	41 050	18 513	ES	ES
Vesi, t/a	ES	ES	ES	ES

¹⁾ Proteiini saostetaan lisäämällä happoa nestejakeeseen. Tästä syystä nesteen kokonaismäärä kasvaa.

²⁾ Tässä esitetty vain nurmesta peräisin oleva kuiva-aine; kuituvalospakkaukset sisältävät 50 % nurmikuitua ja 50 % kierrätyskuitua ja nurmiperäisen jätteen lisäksi jätettä muodostuu myös pakkausten muista raaka-aineista.

Nestejae puristetaan kostutetusta nurmesta esimerkiksi ruuvipuristimen avulla. Nestejakeen arvioitu saanto on 0,633 t/t kostutettua nurmea.

Proteiini voidaan erottaa nestejakeesta säätämällä liuoksen pH:ta hapolla (optimi-pH on 4) (Damborg ym. 2020, Jørgensen ym. 2022). Laskennallisesti 3 mol/l suolahappoa (HCl) tarvitaan n. 7 500 l/a, jos oletetaan, että lähtötilanteessa nestejakeen pH on noin 6. Proteiini olisi mahdollista saostaa myös nostamalla nestejakeen lämpötilaa, mutta happosaostuksessa saanto on hieman parempi kuin lämmittämällä tapahtuvan saostuksen. Stødkilden ym. (2021) perusteella arvioimme, että 50 % liuenneesta proteiinista saadaan saostettua (ks. Taulukko 5). Kirjallisuusdataa (Stødkilde ym. 2021), soveltamalla laskimme, että tällaista proteiinivalmistetta voidaan valmistaa 5 752 t/a (kuivaksi laskettuna). Valmiste sisältää 38 % proteiinia (2 705 t ka/a), mikä edustaa 2,7 % raaka-ainenurmen kuivapainosta ja 15,8 % nurmen sisältämän proteiinin painosta. Stødkilde ym. (2021) raportoivat hyviä tuloksia sikojen kasvatuskokeissa vastaavalle valmisteelle, kun vertailukohtana oli soijaproteiinia sisältävä rehu.

Proteiinin erotuksesta jäljelle jäävän liuoksen koostumus on esitetty taulukossa 5. Liukoisessa muodossa säilyvän proteiinin lisäksi liuos sisältää liukoisia sokereita, muita pienimolekyylisiä orgaanisia yhdisteitä sekä epäorgaanisia ravinteita. Tätä liuosta voisi käyttää solumaatalouden ravinneliuoksena, kun tuotetaan yksisoluproteiinia rehuksi tai elintarvikkeeksi. Lähtöbiomassan kivennäisaineet rikastuvat tähän fraktioon, joten se on hyvä kivennäisaineiden, erityisesti kaliumin, lähde.

Raaka-ainenurmen puristuksen yhteydessä erotettavan kiintojakeen koostumus esitetään myös taulukossa 5. Kokonaisproteiinimäärästä suurin osa (68 %) jää tähän jakeeseen, koska tämä proteiini ei ole liukoisessa muodossa. Osa nestejakeesta myös jää kiintojakeeseen (kap 53 %). Tämän nesteen sisältämän proteiinin tai muiden liuenneiden aineiden määriä ei ole otettu huomioon taulukossa.

Kiintojakeesta voidaan liuottaa proteiinia paineistetun kuumavesiuuton (PHWE) avulla. PHWE-vaihe tehdään tyypillisesti 160 °C:ssa 60 minuutin ajan. Näissä olosuhteissa myös muita biomassakomponentteja liukenee ja samalla tapahtuu kemiallisia reaktioita. Esitetty materiaalitase perustuu laboratoriossa tehtyihin kokeisiin (Hautala ym. 2025). Tämän vuoksi teollisen mittakaavan uuttovaiheeseen lisättävän veden määrästä ei ole varmistettua tietoa eikä näitä tietoja ilmoiteta taulukossa 4B. Laboratoriossa käytettävä vesi-kiintoaine-suhde on harvoin sovellettavissa suuremmissa skaalassa. Joka tapauksessa on selvää, että teollisessakin PHWE-vaiheessa joudutaan käyttämään paljon vettä, minkä vuoksi uutteessa olevien liuenneiden aineiden konsentraatio on verrattain pieni. Tämä puolestaan vaikeuttaa liuenneiden aineiden kannattavaa erottamista liuoksesta.

Suuret vesimäärät johtavat myös teknisiin ja taloudellisiin haasteisiin: laitteistojen kapasiteetti, kuten säiliöiden ja putkistojen koko sekä pumppujen ja sekoittimien teho, täytyy olla riittävän suuri, mikä lisää kustannuksia. Suuria vesimääriä voidaan kierrättää prosessissa, jolloin taloudelliset toimintaedellytykset paranevat. Tämä voi kuitenkin tehdä prosessista teknisesti monimutkaisen sekä lisätä laitteistojen ja tuotteiden kemiallista ja biokemiallista likaantumista. Taloudellisten seikkojen lisäksi veden kierrättäminen on tärkeää myös ympäristön kannalta, koska näin on mahdollista minimoida syntyvän jäteveden määrä.

PHWE-vaiheessa erotetun nesteen, eli uutteen, koostumus eritellään taulukossa 4B. Uuttovaiheessa mittava määrä proteiinia liukenee, vuositasolla 7 838 t (46 % raaka-ainenurmen

kokonaisproteiinista). On todennäköistä, että kuumissa olosuhteissa (160 °C, 60 min.) proteiini reagoi kemiallisesti ja sen erottaminen uutteesta ei siksi onnistu saostamalla.

Aiempiin raportoituihin kokeisiin perustuen (Hautala 2014) voimme todeta, että PHWE-vaiheessa proteiinien lisäksi myös hemiselluloosat ja ligniini reagoivat ja liukenevat jossain määrin. Reaktioissa syntyy orgaanisia happoja sekä oligo- ja monosakkarideja, jotka olosuhteitten mukaan voivat hajota edelleen furfuraaliksi ja hydroksimetyylifurfuraaliksi (Świątek ym. 2020). Liennut ligniini sisältää todennäköisesti niin kutsuttuja LCC-yhdisteitä (lignin carbohydrate complex) (Lahtinen ym. 2019). Liukenevat polyfenolit ovat nurmiraaka-aineen tapauksessa valtaosin peräisin ligniinistä (Fidelis ym. 2023).

PHWE-vaiheen uute on siis laimea liuos monimuotoisia orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä. Arvokkaiden proteiiniperäisten yhdisteiden erottamisen jälkeen liuos voisi soveltua hiilenlähteeksi solumaatalouteen. Liukseen jäljelle jäävät hiilihydraatit olisivat hyvää ravintoa mikrobeille yksisoluproteiinien tuotantoon. Samalla liuos sisältää kuitenkin tunnettuja entsyymi- ja mikrobitoiminnan inhibiittoreita: polyfenoleja, furfuraalia ja hydroksimetyylifurfuraalia (Kim 2018). Nämä yhdisteet tulisi jollakin menetelmällä joko poistaa liuksesta tai sitten uuttoolosuhteita säätämällä niiden muodostuminen ja liukeneminen olisi minimoitava.

Proteiinin lisäksi nurmibiojalostamon toiseksi päätuotteeksi esitetään tässä raportissa nurmikuitua. Jahan ym. (2021) esittelevät yhteenvetoartikkelissaan monia vakiintuneita ja kokeellisestikin kemiallisia kuidunvalmistusmenetelmiä ruohovartisille kasveille. Artikkelissa myös eritellään monenlaisia nurmiperäisen kuidun hyödyntämiseen liittyviä haasteita ja mahdollisuuksia. Myös Saijonkari-Pahkala (2001) käsittelee väitöskirjassaan sellunvalmistusta ruohokuiduista.

Pakkausyritys Huhtamäki on käyttänyt nurmikuitua kaupallisesti munakennojen valmistamiseen Alankomaissa. Vural Gurselin ym. (2021) julkaisusta ei tarkemmin selviä, mikä on ollut kuitujen valmistusmenetelmä, mutta saanto menetelmässä on kirjoittajien mukaan 27 % (kuiva-aineena laskettuna 5 000 tonnista nurmea saadaan valmistettua 2 700 t munakennoja, jotka sisältävät 50 % nurmikuitua ja 50 % kierrätyskuitua). Sovellamme tätä saantoa materiaalitaseen laskennassa, jolloin saamme tulokseksi, että nurmikuitua voidaan tuottaa 27 000 t ka/a. Samalla nurmiperäistä jätettä muodostuu 20 996 t ka/a (21 % raaka-ainenuurmesta). Koska oletamme nurmikuidun valmistuksen olevan kemiallinen menetelmä, jätettä muodostuisi todellisuudessa tätäkin enemmän, mikä johtuu prosessiin lisättävistä kemikaaleista ja raaka-aineista.

Nurmesta valmistettava kuitu sisältää valtaosin selluloosaa, hemiselluloosia ja ligniiniä. Kuidun koostumuksen ja paperiteknisten ominaisuuksien arviointi tämän tarkemmin ei ole tässä yhteydessä mahdollista, koska emme ole määritelleet kuidutusmenetelmää. Samasta syystä on mahdotonta arvioida kuidutusprosessiin tarvittavien kemikaalien laatua ja määriä. Vaikka emme pysty arvioimaan muodostuvan jätteen koostumusta ja tarkkaa määrää, on järkevää ajatella, että syntyvää orgaanista jätettä voidaan käyttää energiantuotantoon joko polttamalla suoraan tai syöttämällä se biokaasuprosessiin. Samoin kannattavassa tuotantoprosessissa käytettyjen kemikaalien kierrättäminen uudelleen prosessiin tai niiden muunlainen hyödyntäminen esimerkiksi lannoitteina täytyy olla mahdollista.

4.2.3. Biojalostamon taloudellisen kannattavuuden suuntaviivoja

Esimerkissämme tarkastellun nurmibiojalostamon raaka-aine on kuivattu nurmi, joka sisältää 50 % puna-apilaa ja 50 % muita nurmikasveja. Päätuotteet puolestaan ovat proteiinivalmiste sekä nurmikuitu. Proteiinituotetta voidaan käyttää rehuna ja nurmikuitua kuituvalospakkaus-ten raaka-aineena.

ProAgrian (Storberg 2021) esittämän arvion mukaan vuonna 2021 säilörehun tuotantokustannusten tilakohtainen vaihteluväli on 0,10–0,18 €/kg ka. Käytämme laskelmissamme arvion korkeinta lukemaa, eli 0,18 €/kg (180 €/t ka), koska vuodesta 2021 kustannustaso on noussut. Nurmen kuivauskustannukset koostuvat sähkön hinnasta, koska oletamme tiloilla olevat kuivurit sähkötoimisiksi. Maatilakuivurit toimivat puhaltamalla kuumaa ilmaa kuivattavien paalien läpi. Biomassapohjaisten polttoaineiden ja maataloustuotteiden kuivausta käsittelevän kirjallisuuden perusteella kuivausprosessien ominaisenergiankulutus vaihtelee välillä 0,8–1,7 kWh/kg haihdutettua vettä (vastaa 0,8–1,7 MWh/t haihdutettua vettä) (Ahokas 2013, Nummelin ym. 2014). Voinemme olettaa, että maatilojen yhteydessä olevilla kuivureilla prosessia ei ole optimoitu, eli ominaisenergiankulutuksen arvoksi valitsemme 1,5 MWh/t haihdutettua vettä. Sähkön hinnaksi arvioimme 0,08 €/kWh (vastaa 80 €/MWh). Kokonaiskustannukset kuivatun nurmen tuotannolle ovat täten laskelmiemme mukaan noin 22,5 miljoonaa euroa vuodessa.

Biojalostamon päätuotteet ovat proteiinivalmiste ja nurmikuitu. Proteiinivalmisteen hinnaksi arvioimme 1 €/kg ka, eli 1 000 €/t ka. Nurmikuitu vastaa ominaisuuksiltaan kierrätyskuitua, jonka hinta-arvio vuodelta 2023 on 690 €/t ka (Sazzini 2023). Näillä arvoilla saamme laskettua biojalostamon päätuotteiden markkina-arvoksi noin 24,4 miljoonaa euroa.

Nurmibiojalostamon raaka-aineen vuotuiset tuotantokustannukset sekä tuotteiden kokonaisarvo on koottu taulukkoon 6. Samassa taulukossa on myös esitettyä tase, eli mainittujen tulojen ja menojen erotus.

Taulukko 6. Nurmibiojalostamon raaka-aineen tuotantokustannukset (€/a).

A. Menot vuodessa

	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta	Yksikkö	Hinta, €/a
Nurmi	100 000	t ka/a	180	€/t ka	18 000 000
Haihdutettu vesi	37 567 ¹⁾	t/a	120 ²⁾	€/t vettä	4 508 050
Menot yhteensä					22 508 050

B. Tulot sekä tase vuodessa

Proteiinivalmiste	5 752	t ka/a	1 000	€/t	5 752 343
Kuitu	27 000	t/a	690	€/t	18 630 000
Tulot yhteensä					24 382 343
Tase (tulot-menot)					1 874 293

¹⁾ Nurmi kuivataan pellolla 16 %:n kap:sta 65 %:n kap:een, minkä jälkeen loppukuivaus (86 % ka) tehdään maatalakuivurissa; kun nurmea on 100 000 t ka/a, haihdutettavaa vettä on tällöin 37 567 t/a.

²⁾ Sähkön hinnan ja kuivurin ominaisenergiankulutuksen tulo: 1,5 MWh/t vettä x 80 €/MWh = 120 €/t vettä.

4.2.4. Johtopäätökset biojalostamon teknistaloudellisesta kannattavuudesta

Esittämämme arvio kuvaa vain osaa nurmibiojalostamon kuluista ja tuloista. Nurmibiojalostamon rakentamis- ja käyttökustannusten arviointi on tässä yhteydessä varsin vaikeaa. Tällä hetkellä Suomessa valmistetaan pakkausmateriaaleihin soveltuvia kasvipohjaisia kuituja

mittavia määriä ainoastaan puunjalostusteollisuudessa. Valtaosa puukuiduista eristetään kemiallisesti sulfaattimenetelmällä sellutehtaissa, joista varsinkin moderneja laitoksia voidaan kutsua monipuolisuutensa vuoksi metsäbiojalostamoiksi. Vaikka sulfaattimenetelmä soveltuu puun kemialliseen fraktiointiin hyvin, nurmibiomassan puuta korkeampi silikaattipitoisuus tekee siitä sopimattoman alkalisen sulfaattikeiton raaka-aineeksi. Silikaatit liukenevat sellunvalmistuksen vahvasti emäksiseen jäteliemeen ja vaikeuttavat keittokemikaalien kierrättämistä (Willför ym. 2011). Näin nurmen jalostaminen kuitutuotteeksi sulfaattimenetelmällä on taloudellisesti ja ympäristön kannalta kestävämpi. Uudenlaisten biojalostamojen teknologinen kehitys ja biojalostamojen puute on tällä hetkellä keskeinen pullonkaula toimivien nurmibiojalostamoarvoketjujen kehittämisessä.

Kuten jo aiemmin mainittiin, peltokasvien hyödyntämistä kuitutuotteissa on jo mittavasti tutkittu (Jahan ym. 2021, Saijonkari-Pahkala 2001). Tutkimukset eivät ole ainakaan Pohjois-Euroopassa johtaneet teollisen mittakaavan tuotantolaitoksiin. Kun tiedossa ei ole kannattavaa kuidutusmenetelmää peltobiomassalle, tässä yhteydessä on vaikea arvioida, kuinka paljon nurmibiojalostamon perustaminen maksaisi ja mitkä olisivat sen käytön vuosikustannukset työvoiman, kemikaalien ja energian suhteen.

Teknisiä haasteita liittyy oletettavasti myös raaka-aineen käsittelyyn ja kuljetuksiin. Nyt on ajateltu, että apilapitoinen nurmi kuivataan ensiksi pellolla ja sitten maatilakuivurissa. Apilan kuivaaminen on hankalampaa kuin heinäkasvien. Tämän vuoksi arviomme kuivauksen kustannuksista tai ylipäättään teknisestä onnistumisesta voi olla liian optimistinen. Haasteita liittyy myös nurmibiojalostamon raaka-aineen kuljetuskustannuksiin. Lähtökohtaisesti ruohovartisten kasvien rahtaus on kalliimpaa kuin puun kuljettaminen (Willför ym. 2011), koska puuta saadaan kuormattua painoyksikköinä samaan tilavuuteen enemmän kuin esimerkiksi kuivaa heinää. Nyt kuljetuskustannukset puuttuvat kannattavuusarviostamme.

Apila on raaka-aineena houkutteleva, koska sen proteiinipitoisuus on tyypillisesti nurmiheiniä korkeampi (Luke 2026b) ja palkokasvina se pystyy hyödyntämään biologista typen sidontaa. Apilan vaikutus toisen päätuotteen, nurmikuidun, ominaisuuksiin voi olla kuitenkin negatiivinen. Puna-apilan soveltuvuus nurmikuidun tuotantoon on raportoitu heikommaksi kuin esimerkiksi ruokonadan (*Festuca arundinacea*) tai ruokohelven (*Phalaris arundinacea*) (Saijonkari-Pahkala ym. 2001) – tosin raportoidussa tutkimuksessa kuidutusmenetelmää ei optimoitu erilaisille raaka-aineille.

Laaditun materiaalitaseen mukaan PHWE-uute sisältää huomattavan määrän proteiiniperäisiä yhdisteitä: yli 7 800 t ka/a. On varsin todennäköistä, että uuttovaiheen korkeassa lämpötilassa ja suhteellisen pitkässä reaktioajassa (160 °C ja 60 min) proteiini hajoaa liukoiksi aminohappo- ja peptidiyhdisteiksi, joiden erottaminen liuksesta on haasteellista. Erilaisilla kalvo-suodatus- ja kromatografiamenetelmillä se kuitenkin onnistuu (Ecker ym. 2012). Arvokkaiden aminohappojen erottaminen liuksesta voikin parantaa nurmibiojalostamon kannattavuutta.

Emme ole laskeneet nurmibiojalostamon nestejakeissa olevien hiilihydraattien kaupallista arvoa. Proteiinien erottamisen jälkeen sekä nurmesta puristettu nestejake että PHWE-uute sisältävät mono-, oligo- ja polymeerisiä sokereita. Tämän kaltaiset liuokset voisivat kiinnostaa solumaatalouden raaka-aineina ja näissä prosesseissa olisi mahdollista tuottaa vielä lisää proteiinivalmisteita. Nurmesta myös liukenee epäorgaanisia ravinteita: metalleja sekä typpi-, fosfori- ja kaliumyhdisteitä, jotka olisi mahdollista ottaa talteen ja jalostaa lannoitteiksi.

Ilmastonmuutos aiheuttaa tulevaisuudessa muutoksia maa- ja metsätalouteen sekä suoraan että välillisesti. On mahdollista, että hakkuita joudutaan vähentämään Suomessa, jotta pystymme vastaamaan asetettuihin ilmastotavoitteisiin. Jos puukuidusta tulee pula, nurmikuidun kysyntä ja hinta todennäköisesti nousevat. Tämä parantaisi nurmibiojalostamon kannattavuutta.

Yhteenvetona voidaan todeta, että alustavien laskelmien mukaan nurmibiojalostamo saattaa olla kannattava. Kannattavuuden varmistamiseksi on kuitenkin selvitettävä seuraavia seikkoja:

1. Mikä on jatkojalostuksen kannalta paras raaka-aine ja mikä on tälle raaka-aineelle kannattavin esikäsittelymenetelmä (esim. kuivaus, säilörehun valmistus)?
2. Miten puristetusta mehusta sekä kuumavesiuutteesta saadaan kannattavimmin erotettua proteiini ja proteiiniperäiset yhdisteet (aminohapot, peptidit)?
3. Mikä on optimaalinen kuidutusmenetelmä nurmibiomassalle, eli miten saadaan hyvälaatuista kuitua korkealla saannolla ympäristöystävällisesti?
4. Miten hiilihydraatti- ja mineraalipitoiset uuttoliuokset voidaan parhaiten hyödyntää mikrobiologisissa prosesseissa ja/tai lannoitteiden valmistuksessa?
5. Miten ilmastonmuutos ja sen hillitsemiseksi tehdyt poliittiset päätökset vaikuttavat tulevaisuuden maa- ja metsätalouteen ja millaisia seurauksia muutoksilla on nurmibiojalostamon kannattavuuteen?

4.3. Energiakäyttö, biokaasu ja kierrätysravinteet

Nurmesta tuotetun biometaanin kannattavuus: Tässä osiossa tarkastellaan nurmea erillisenä, omana syötteenään suuren mittakaavan biometaanintuotannossa. Tavoitteena on antaa karkea kuva nurmibiometaanin tuotannon kannattavuudesta nurmibiojalostamoon verrattuna, sekä arvioida biometaanin tuotannon liittämistä osaksi suuren mittakaavan nurmibiojalostamo. Biojalostamo-biometaaniyhdistelmäkonseptissa oletetaan, että nurmen puristinerotuksessa syntyvä nestejäte ohjataan jatkojalostukseen (Kuva 5) ja kiintojäte biometaanintuotantoon.

Suomessa on vain muutamia esimerkkejä pääosin nurmeen perustuvista, suhteellisen pienimuotoisista biometaanilaitoksista (mm. Pyhäjärven biokaasu, Kalmarin maatila ja Palopuron biokaasu). Suurten laitosten kohdalla puhtaasti nurmeen perustuvia ratkaisuja ei kuitenkaan ole suunnitteilla. Lähivuosina nurmi tulee todennäköisesti toimimaan pienen volyymin liäsäyötteenä biokaasulaitoksissa, joissa pääsyötteenä on lantaa. Esimerkiksi Suomen Lantakaasu Oy:n vuoden 2026 aikana käynnistyvät Kiuruveden (kokonaissyöte 437 000 t/a, josta lantaa 80 % ja nurmea 4 %) ja Nurmon laitokset tulevat hyödyntämään nurmea lähinnä täydentävänä syötteenä.

Pitkien kuljetusetäisyyksien alueilla, erityisesti sisämaan ja Pohjois-Suomen harvaan asutuilla seuduilla, biokaasupohjaiset logistiikkaratkaisut voivat synnyttää markkinavetoista kysyntää paikalliselle nurmituotannolle. Tämä on jo nähtävissä viljelijöiden kasvavana kiinnostuksena nurmen jälkisatojen viljelyyn lantakaasulaitosten lähialueilla.

Ravinteiden kierrätyksen näkökulmasta merkittävä hanke on Wega Oy:n suunnittelema biojalostamo Varsinais-Suomen Oripäähän. Laitoksen tavoitteena on erottaa lannoista jopa 280 tonnia fosforia vuodessa ja jalostaa mädäte luomulannoitteeksi, mikä mahdollistaa fosforin siirtämisen pois Saaristomeren valuma-alueelta. Laitoksen suunniteltu kokonaissyötemäärä

on yli 600 000 tonnia vuodessa, koostuen lannoista, peltobiomassoista ja elintarviketeollisuuden sivuvirroista (Wega 2025).

Nurmen ja kiintojakeen ominaisuudet ja tuotantomäärät: Tarkasteltavan nurmisyötteen määrä on 100 000 t kuiva-ainetta (ka) vuodessa (Taulukko 7). Kun satotaso on 4,6 t ka/ha, tarvittava tuotantoala on noin 22 000 hehtaaria. Biometaanintuotantoa varten korjattavan säilörehunurmen kuiva-ainepitoisuus on arviolta 25 % ja biokemiallinen metaanintuottopotentiaali (BMP) noin 2,8 MWh kuiva-ainetonna kohti. Nurmen metaanintuottopotentiaali on 0,7 MWh tuoretonna kohti ja siten hehtaarikohtainen metaanipotentiaali on noin 13 MWh.

Taulukko 7. Nurmen ja siitä puristetun kiintojakeen tuotantomäärät ja ominaisuudet. CH₄-potentiaali on biokemiallinen metaanintuottopotentiaali (BMP).

	Yksikkö	Nurmi	Kiintojake
Tuotantopinta-ala	ha	22 300	22 300
Kuiva-ainesato	t/ha/a	4,552	3,536
Kuiva-ainesato	t/a	100 000	77 676
Orgaanisen aineen sato	t/a	90 000	71 462
Tuoresato	t/a	400 000	146 836
Kuiva-ainepitoisuus	%	25,0	52,9
Orgaanisen aineen pitoisuus	%	22,5	48,7
Org. aineen CH₄-potentiaali*	kWh/t oa	3100	2728
Kuiva-aineen CH₄-potentiaali	kWh/t ka	2790	2510
Tuoremassan CH₄-potentiaali	kWh/t	698	1328
Hehtaarikohtainen CH₄-pot.	MWh/ha	12,7	8,9
Kokonaistyyppipitoisuus	kg/t	11,0	24,2
Ammoniumtyppipitoisuus	kg/t	0,4	0,4
Fosforipitoisuus	kg/t	0,7	1,0
Kaliumpitoisuus	kg/t	0,3	0,3

*Virkajärvi ym. 2021: apila-heinänurmiseoksen BMP 3,1–3,5 MWh/t oa. Seppälä ym. 2014 raportissa alhaisemmat: apila n. 2,6–2,8 ja heinänurmi n. 3,2 MWh/t oa.

Biojalostamossa nurmesta puristettavan kiintojakeen kuiva-aine määrä on noin 77 700 tonnia, joka vastaa 78 % nurmen kuiva-ainemassasta. Kiintojakeen kuiva-ainepitoisuus on korkea (53 %), joten sen tuoremassa jää 146 900 tonniin vuodessa, eli 37 %:iin alkuperäisestä nurmen tuoremassasta. Kiintojakeen orgaaninen aine on hieman heikommin biohajoavaa kuin nurmen vastaava orgaaninen fraktio. Metaanintuottopotentiaali on noin 88 % nurmen orgaanisen aineen potentiaalista (Vainio ym. 2019). Kuiva-ainetonnin metaanintuottopotentiaali on keskimäärin 2,5 MWh, eli hieman pienempi kuin nurmella. Korkean kuiva-ainepitoisuuden ansiosta kiintojakeen tuoretonnin metaanipotentiaali on kuitenkin selvästi korkeampi, noin 1,3 MWh. Tämä on noin 90 % suurempi kuin nurmen tuoretonnikohtainen potentiaali. Hehtaarikohtainen metaanipotentiaali kiintojakeelle on noin 9 MWh.

Nurmen ja kiintojakeen tyyppipitoisuudet on arvioitu biojalostamon massataselaskelmassa esitettyjen proteiinipitoisuuksien perusteella. Nurmen kokonaistyyppipitoisuus on 11 kg/tuorettonni ja kiintojakeen 24 kg/tuorettonni. Ammoniumtyypin (0,4 kg/t) ja kaliumin (0,3 kg/t) pitoisuuksien oletetaan olevan samantasoisia sekä nurmessa että kiintojakeessa.

Fosfori rikastuu nurmen puristusprosessissa kiintojakeeseen (Santamaria-Fernandez 2020). Tämän perusteella kiintojakeen fosforipitoisuudeksi on arvioitu noin 1,0 kg/tuoretonni, mikä on noin 40 % korkeampi kuin nurmen fosforipitoisuus (0,7 kg/t).

Biometaanin tuotantotekniikka, tuotantomäärät, massatase ja mädätteen ravinteiden arvo: Tässä raportissa oletetaan, että nurmi tai nurmibiojalostamossa erotettu kiintojakee mädätetään biokaasulaitoksessa, joka käsittelee ainoastaan kyseistä syötettä. Pelkkää nurmea tai kiintojakeetta käsittelevän laitoksen kustannuksia ja tuottoja on helpompi vertailla nurmibiojalostamon vastaaviin lukuihin. Syötteiden metaanipotentialista saadaan hyödynnettyä arviolta noin 90 %, mikä sisältää myös jalostusvaiheen pienet metaanihävikit.

Nurmesta saadaan tuotettua 251 GWh biometaania vuodessa, mikä vastaa 2,5 MWh kuiva-ainetonna kohti ja 0,6 MWh tuoretonnia kohti. Kiintojakeen vuosituotanto on 175 GWh, ja sen tuoretonnikohtainen tuotto (1,2 MWh) on noin 90 % suurempi kuin nurmella.

Taulukko 8. Biometaanin tuotantomäärät ja massatase.

	Yksikkö	Nurmi	Kiintojakee
Biometaanin vuosituotanto	GWh/a	251	175
Kuiva-ainetonnin biometaanintuotto	MWh/t ka	2,5	2,3
Tuoretonnin biometaanintuotto	MWh/t	0,6	1,2
Syöte			
Tuoremassa		400 000	146 836
Orgaaninen aine	t/a	90 000	71 462
Kokonaistyyppi	t/a	4 400	3 553
Ammoniumtyppi	t/a	160	59
Fosfori	t/a	280	147
Kalium	t/a	120	44
Tuotetun biokaasun massa	t/a	58 271	40 716
Mädäte			
Tuoremassa	t/a	341 729	106 119
Orgaaninen aine	t/a	31 729	30 746
Kokonaistyyppi	t/a	4 400	3 553
Ammoniumtyppi	t/a	1 807	1 253
Fosfori	t/a	280	147
Kalium	t/a	120	44

Mädätteen massa on laskettu vähentämällä syötteen kokonaismassasta biokaasun muodostama massanvähennys (Taulukko 8). Metaanintuoton seurauksena nurmimädätteen tuoremassa on 15 % pienempi kuin alkuperäisen nurmisyötteen massa ja sen kuiva-ainepitoisuus on 9 %. Kiintojakeen mädätteen tuoremassa puolestaan vähenee 28 % ja sen kuiva-ainepitoisuus on 29 %. Kaasunmuodostus vähentää massaa, minkä vuoksi kokonais-NPK-pitoisuudet kasvavat nurmella 17 % ja kiintojakeella noin 38 %.

Biokaasuprosessi ei muuta kokonaisravinteiden (N, P, K) absoluuttisia määriä, mutta se muuttaa typen kemiallista muotoa. Kun mikrobit hajottavat orgaanista ainesta, ammoniumtyypin osuus kokonaistyyppistä kasvaa merkittävästi, ja tämä parantaa typen kasveille

käyttökelpoista fraktiota. Biokaasun massamuodostus ja orgaanisen typen mineralisoituminen on arvioitu Biokaasulaskurin yksinkertaisella kaavalla (Pyykkönen ym. 2023).

Kannattavuuslaskelmassa oletetaan, että biokaasulaitos saa tuloa mädätteen sisältämistä pääravinteista niiden nopeasti käyttökelpoisten osuukien perusteella. Tyypestä käyttökelpoiseksi laskettiin liukoinen tyyppi (ammoniumtyppi). Fosforista 90 % ja kaliumista 80 % oletettiin nopeasti käyttökelpoiseksi (Zhang ym. 2017). Jos typen hinnaksi oletetaan 1 280 €/tonni, fosforin 1 430 €/tonni ja kaliumin 1 950 €/tonni (Kässi & Niskanen 2024), saa nurmibiokaasulaitos ravinteista tuloa 11,4 euroa tuotettua megawattituntia kohti. Kiintojakeeseen perustuvassa laitoksessa vastaava tulo on 10,6 €/MWh. Laskelmassa ei ole huomioitu biokaasun mukana lähtevää vähäistä typpihävikkiä eikä mädätteestä mahdollisesti haihtuvaa ammoniakkaa, mikä voisi lisätä todellisia hävikkejä.

Biometaanintuotannon investointikustannukset: Nesteytetyn nurmibiometaanin tuotantolaitoskokonaisuus maksaa karkean arvion mukaan 77 miljoonaa euroa (Taulukko 9). Kiintojakebiometaanin tuotantolaitoksen kokonaishinta on noin 54 miljoonaa. Biometaanin tuotantotehoon suhteutettuna tämä vastaa noin 2 700 €/kW. Mädätyslaitos muodostaa investoinnista suurimman osan, noin 40 miljoonaa euroa eli 1 395 €/kW (Liite 1). Jalostuksessa biokaasun metaanipitoisuus nostetaan esimerkiksi 55 %:sta 97–100 %:n pitoisuuteen poistamalla hiilidioksidia. Jalostuksen investointikustannus on suuressa mittakaavassa noin 11 miljoonaa euroa eli 400 €/kW (arvio BIP 2023 perusteella). Jotta jalostuksessa syntyynyttä biometaanin voidaan käyttää raskaimmissa kulkuneuvoissa, se pitää nesteyttää. Nesteytyslaitteiston investointi on 23 miljoonaa eli 800 €/kW (BIP 2023). Lisäksi nesteytettyä biometaanin varten tarvitaan tankkausasema. Sen kustannus on noin 3 miljoonaa euroa eli 105 €/kW (hinta on suhteutettu Lantakaasun Kiuruveden laitoksen tankkausaseman hintaan (Selander 2025) ja kapasiteettiin (SLK 2025)).

Taulukko 9. Biometaanintuotantoon liittyvät investointikustannukset.

	Yksikkö	Nurmi	Kiintojake
Syötemäärä	t ka/a	100 000	77 676
Syötemäärä	t/a	400 000	146 836
Biometaanintuotto	GWh/a	251	175
Biometaanintuotantoteho	MW	28,7	20,0
Investointihinnat			
Mädätyslaitos	M€	40,0	28,0
Kaasun jalostuslaitoslaitos	M€	11,5	8,0
Biometaanin nesteytyslaitos	M€	22,9	16,0
Biometaanin tankkausasema	M€	3,0	2,1
Investointi yhteensä	M€	77,4	54,1
Investointi kaasutehoa kohti	€/kW	2700	2703
Investointituki	%	30	30
Investointituki	M€	23,2	16,2
Tuettu investointi	M€	54,2	37,9

Nurmen ja nurmen kiintojakeen tuotantokustannus: Laskelmissa käytetty nurmi oletetaan 50:50 apila-heinänummiseokseksi. Nurmen tuotantokustannukseksi on arvioitu 180 €/kuiva-ainetonni eli 45 €/tuoretonni. Biometaanintuotantomäärää kohti laskettuna kustannus on 72 €/MWh. Kiintojakeen ka-kohtainen tuotantokustannus on sama kuin nurmella, mutta sen

kuiva-aine tuottaa hieman vähemmän metaania, joten sen MWh-kohtainen tuotantokustannus on 80 €/MWh. Kiintojakeen tuotantokustannukseen ei ole laskettu mukaan biojalostamossa tapahtuvaa nurmen puristusta.

Nurmen ka-tonnikohtainen tuotantokustannus alenee, jos tuotantoa tehostetaan lisäämällä tuotantopanoksia. Toisaalta joissakin tapauksissa, kuten hoidettujen viljelemättömien peltojen (HVP-lohkot) nurmisadoissa, "tuotantokustannus" voi olla huomattavasti pienempi, koska kustannuksia syntyy lähinnä korjuusta. Jos sato korjataan vain kerran vuodessa, myös orgaanisen aineen metaanintuottopotentiali jää alemmaksi kuin kahdessa tai kolmessa niitossa. Lötjönen ja Niemeläinen (2014) arvioivat, että kerran vuodessa korjattavan HVP-nurmen korjuu- ja varastointikustannukset ovat 62–68 €/t ka, kun satotaso on 4 t ka/ha.

Mädätyksen, kaasun jalostuksen sekä nesteityksen ja tankkausaseman kustannus:

Raakabiokaasun kokonaiskustannus (CAPEX + OPEX) on nurmen ja kiintojakeen mädätyksessä 33,9 €/MWh. Biokaasun jalostuksen kokonaiskustannukseksi oletettiin 11,5 €/MWh (BIP 2023). Tätä arvoa sovelletaan sekä nurmeen että kiintojakeeseen, koska tuotantokapasiteetin kasvaessa jalostuksen skaalaetu ei yleensä enää merkittävästi parane (Beil & Beyrich 2013). Suuren mittakaavan jakelussa biometaani nesteytetään (LBG), jolloin se soveltuu myös raskaaseen liikenteeseen ja varmistaa kysyntää. Nesteityksen kustannukseksi on arvioitu 20 €/MWh molemmille syötteille. Kustannusarvot vaihtelevat lähteestä riippuen. Spoof-Tuomen (2020) mukaan 25 GWh/a tuotantotasolla nesteityskustannus on käytettävästä teknologiasta riippuen 10–25 €/MWh. Auris Energia Oy:n (Hautaluoma 2026) arvion mukaan 50–200 GWh mittakaavassa nesteityskustannus on 20 €/MWh. Toisaalta Yhdysvalloissa vuonna 2025 palveluna tehtävän maakaasun nesteityksen hinta on vain noin 8–9 €/MWh (Poten & Partners 2025). Nesteitetyn biometaanin tankkausaseman kokonaiskustannuksen arvioidaan olevan 2 €/MWh.

Nurmen, kiintojakeen ja mädätteiden logistiikkakustannus: Tässä raportissa nurmen kuljetusmatkaksi biokaasulaitokselle arvioitiin keskimäärin 20 km. Arvio perustuu Bionurmi-hankkeen loppuraporttiin (Seppälä ym. 2014), jossa laskettiin kuljetusmatkoja Etelä-Suomessa sijaitsevalle kymmenelle nurmipohjaiselle biokaasulaitokselle. Laskentamallissa oletettiin, että 30 % peltoalasta on biokaasunurmen tuotannossa. Bionurmi-hankkeen tulosten perusteella noin 25 km keräilysäde (teitä pitkin mitattuna) riittää tuottamaan 100 000 tonnia kuiva-ainesatoa, kun satotaso on 4,5 t ka/ha. Syötteiden ja mädätteiden lastaus- ja kuljetuskustannus laskettiin Jauhiaisen (2022) esittämällä menetelmällä.

Nurmibiojalostamokonseptissa nurmi kuivataan maatilalla ja kuivattu nurmi kuljetetaan nurmibiojalostamolle, jossa se kostutetaan ja puristetaan kiintojakeeksi ja nestejakeeksi. Kuiva-tulle nurmelle käytettiin samaa 20 km kuljetusmatka kuin nurmelle. Kuivatun nurmen kuljetus (7,5 €/MWh) on energiayksikköä kohti laskettuna halvempaa kuin nurmen (8,6 €/MWh).

Tämän raportin laskelmissa oletetaan, että samat rekka-autot, jotka kuljettavat nurmea tai kuivattua nurmea, kuljettavat myös kiinteän mädätteen takaisin nurmen varastosiiloihin. Näin vältetään ajot ilman lastia ja alennetaan kuljetuskustannuksia. Siilojen kustannus on sisällytetty jo nurmen tuotantokustannukseen, joten mädätteen varastoinnille ei laskettu erillisiä kustannuksia. Siiloissa ei varastoida eläinten rehua, joten hygienisointia ei myöskään tarvita. Tässä raportissa ei ole laskettu mädätteen prosessoinnin kustannuksia. Prosessointia voidaan tarvita, jos esimerkiksi fosforia halutaan siirtää pitkiä matkoja alueelta (esim. Varsinais-Suomesta) toiselle.

Tulot biometaanin myynnistä: Tässä raportissa biometaanin myyntihinnaksi tankkausasemalla oletetaan 125 €/MWh (alv 0 %). Koska biometaanista joutuu maksamaan valmisteveroa vähintään 10,414 €/MWh, myyjän nettohinnaksi jää noin 115 €/MWh. Syyskuussa 2025 biometaanin hinnat vaihtelivat eri puolella Suomea välillä 1,12–1,75 €/kg (alv 0 %) Tankille-mobiilisovelluksen mukaan (11.9.2025). Tämä vastaa noin 80–126 €/MWh, jos kaasu on 100-prosenttisesti metaania. Jos biometaanista 99 tilavuusprosenttia on metaania ja loput hiilidioksidia, MWh:n hinta on 3 % kalliimpi (83–130 €/MWh). Jos metaania on 97 tilavuusprosenttia, hinta on 8 % kalliimpi (87–137 €/MWh). Suomen Lantakaasu Oy:n laitosten käynnistyessä ja muiden biometaanihankkeiden toteutuessa voi tulla hintakilpailua. Toisaalta ETS2-päästökäytön alkaessa vuonna 2028 fossiilisten polttoaineiden hinnat nousevat (Juntunen 2025), jolloin biometaanin kysyntä voi kasvaa ja siten hinta nousta.

Tikettikauppa ja investointituki: Biometaanin myyntihinnan lisäksi raaka-aineena käytettävän nurmen tai siitä erotettavan kiintojakeen kestävyys on kannattavuuden kannalta keskeistä. Kestävyyden todentaminen on edellytys biometaanin jakeluelvoitteeseen laskemiselle eli tikettien myymiselle, alhaisemmalle (10 €/MWh) valmisteverolle ja valtiontuen saamiselle (Energiavirasto 2026).

Tikettikauppa tarjoaa biometaanintuottajalle lisätuloja silloin, kun tuotanto ylittää oman jakeluelvoitteen. Jakeluelvoite on Suomessa v. 2026 16,5 % ja se nousee vuosittain vuoteen 2030 asti, jolloin se tulee olemaan 34 % (Energiavirasto 2026). Tikettejä voi myydä ”ylitäyttöosuudesta” eli siitä osasta biometaanista, joka ylittää oman jakeluelvoitteen. Vuodesta 2030 lähtien tikettejä voidaan siis myydä enintään 66 %:lle (100 %-34 %) tuotetusta biometaanista.

Tässä raportissa tikettituloiksi oletetaan 26,4 € jokaista myytyä biometaanimegawattituntia kohti (40 €/MWh x 66 % ylitäyttöosuus = 26,4). Laskelmassa käytetty tiketin hinta on Gasum Oy:n vuoden 2024 vaihteluväliarvion (20–40 €/MWh, Satosalmi 2024) yläpäästä, mutta toisaalta tiketin hinnan voi olettaa nousevan jakeluelvoiteprosentin noustessa. Tiketin hinta määräytyy markkinoilla, eikä hinnoista ole olemassa varsinaista tilastotietoa.

Investointitueksi oletetaan tässä laskelmassa 30 %. Esimerkiksi Lantakaasun Kiuruveden biokaasulaitos sai RRF-tukea 28 % hyväksyttävistä kustannuksista (Grönlund 2022).

Biometaanintuotannon kannattavuus: Biometaanintuotannon kannattavuutta tarkastellaan tuotettua energiamäärää (€/MWh) kohti. Laskelman mukaan nurmen käyttö suuren mittakaavan laitoksen syötteenä on kannattavaa; laitos tuottaa noin 13 €/MWh voittoa, mikä vastaa noin 3,2 miljoonan euron vuosittaista tulosta. Kiintojakeella tulos on 6 €/MWh eli 0,9 miljoonaa vuodessa. Valituilla laskenta-arvoilla ja kustannuksien jaottelulla (Taulukko 10) suurin menoerä on nurmen tuotantokustannus, 72 €/MWh (kiintojakeen tuotantokustannus 80 €/MWh). Toiseksi suurin kustannus on mädätys eli raakabiokaasuntuotanto (34 €/MWh). Nurmen ja mädätteen kuljetuskustannus (molemmilla keskimäärin 20 km) on muihin kustannuksiin nähden alhainen (6 €/MWh). Laskelmassa ei huomioitu mahdollisia mädätteen prosessointikustannuksia, joita syntyy lannoitevalmisteiden tuotannossa, jos esimerkiksi halutaan konsentroida ravinteita ja siirtää ravinteita fosforirikailta alueilta muualle. Tuloista suurimmat ovat biometaanin myynti 115 €/MWh (valmistevero vähennetty) ja tikettikauppa 26 €/MWh. Tuotanto muuttuu selvästi tappiolliseksi, jos laitos ei saa myytyä tikettejä tai biometaanin markkinahinta on nykyisen hintahaarukan alapäästä. Toisaalta nurmen tuotantokustannusta voidaan saada alemmaksi tuotantoa tehostamalla. Lisäksi tulevaisuudessa biometaanin jalostuksessa erotettava hiilidioksidi voi olla merkittävä tulonlähde biokaasulaitoksille.

Taulukko 10. Biometaanin tuotantokustannukset, tulot ja investointituki laskettuna tuotettua biometaani-megawattituntia kohti (€/MWh) nurmisyötteellä ja kiintojaesyötteellä.

Tuotantokustannukset	Yksikkö	Nurmi	Kiintojae
Syötteen tuotanto ja varastointi	€/MWh	72	80
Syötteen ja mädätteen logistiikka	€/MWh	9	7
Mädätys	€/MWh	34	34
Kaasun jalostus biometaaniksi	€/MWh	12	12
Biometaanin nesteytys	€/MWh	20	20
Biometaanin tankkausasema	€/MWh	2	2
Tuotantokustannukset yhteensä	€/MWh	147	154
Tulot ja tuet			
Investointituki (30 %)*	€/MWh	7	7
Biometaanin myynti	€/MWh	115	115
Tikettikauppa**	€/MWh	26	26
Tulot mädätteen ravinteista	€/MWh	11	11
Tulot ja tuet yhteensä	€/MWh	160	159
Tulos (Tulot ja tuet - Kustannukset)	€/MWh	13	5

*Investointituki on laskelmassa jaettu 20 vuodelle (5 % korko). **Tikettitulo jyvitetty myydyille biometaani-MWh:lle (40 €/MWh*66 % ylitäyttöosuus = 26,4 €/MWh).

Vuotuiset kustannukset, tulot ja tulos on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Biometaanin vuotuiset tuotantokustannukset, tulot, investointituki ja tulos nurmisyötteellä ja kiintojaesyötteellä.

Tuotantokustannukset	Yksikkö	Nurmi	Kiintojae
Syötteen tuotanto ja varastointi	M€/a	18,0	14,0
Syötteen ja mädätteen logistiikka	M€/a	2,2	1,3
Mädätys	M€/a	8,5	6,0
Kaasun jalostus biometaaniksi	M€/a	2,9	2,0
Biometaanin nesteytys	M€/a	5,0	3,5
Biometaanin tankkausasema	M€/a	0,4	0,3
Tuotantokustannukset yhteensä	M€/a	37,0	27,1
Tulot ja tuet			
Investointituki (30 %)*	M€/a	1,9	1,3
Biometaanin myynti	M€/a	28,9	20,2
Tikettikauppa**	M€/a	6,6	4,6
Tulot mädätteen ravinteista	M€/a	2,9	1,9
Tulot ja tuet yhteensä	M€/a	40,2	28,0
Tulos (Tulot ja tuet - Kustannukset)	M€/a	3,2	0,9

*Investointituki on laskelmassa jaettu 20 vuodelle (5 % korko). **Tikettitulo jyvitetty myydyille biometaani-MWh:lle (40 €/MWh*66 % ylitäyttöosuus = 26,4 €/MWh).

Johtopäätökset biometaanintuotannon kannattavuudesta

Tarkastelun perusteella voidaan vetää seuraavat johtopäätökset:

1. Nurmen käyttö biometaanintuotannossa on kannattavaa valituilla lähtöarvoilla. Kannattavuus on kuitenkin herkkä muutoksille keskeisissä kustannus- ja hintatekijöissä.
2. Nurmesta puristetun kiintojakeen kuiva-aineen metaanintuottopotentiaali on hieman pienempi kuin nurmella, mutta korkean ka-pitoisuuden (53 %) takia tuoretonnikohtainen metaanipotentiali on 90 % korkeampi kuin nurmella. Korkea energiatiheys on eduksi ainakin kuljetuksessa ja lastauksessa. Suuresta energiatihydestä saattaisi olla hyötyä kuivamädätyksessä (reaktorikuutiokohtainen tuotto), mutta asiasta ei ole tarpeeksi tutkimustietoa.
3. Nurmen tuotantokustannus on merkittävä kokonaiskustannus. Laskelmassa käytetty hinta on 180 €/t ka (72 €/MWh), mutta todellinen vaihteluväli voi olla huomattava riippuen nurmen alkuperästä, kysynnästä ja viljelyn intensiivisyydestä.
4. Nurmen ja mädätteen logistiikkakustannus on suhteellisen pieni verrattuna muihin kustannuseriin.
5. Kestävyyssuhteiden täyttyminen on keskeinen kannattavuustekijä. Ilman kestävyysluokitusta ei voi myydä tikettejä eikä saada valtiontukea.
6. Biometaanin myyntihinta vaikuttaa voimakkaasti kannattavuuteen. Hinta vaihtelee jakelijoittain ja alueittain, ja siihen vaikuttavat tulevaisuudessa:
 - fossiilisten polttoaineiden hinnannousu (ETS2-päästökauppa)
 - kotimaisen biometaanintuotannon ja kysynnän kasvu
7. Jalostuksessa biokaasusta talteen otettava lähes puhdas hiilidioksidi voi tulevaisuudessa muodostaa merkittävän lisätulonlähteen biokaasulaitoksille.

4.3.1. Biojalostamon ja biokaasulaitoksen integroitu malli on kannattava

Esitettyjen laskelmien perusteella nurmen biojalostus näyttää taloudellisesti kannattavammalta vaihtoehdolta kuin pelkkä biokaasun tuotanto, mutta vain silloin, kun biojalostamossa syntyville tuotteille – erityisesti kiintojakeelle – saavutetaan riittävän korkea ja vakaa markkina-arvo.

Nurmen puristuksen nestejakeessa on arvokomponentteja, jotka kannattaa mahdollisesti jatkojalostaa esimerkiksi proteiinirehuksi. Laskelmat osoittavat, että vaikka proteiini erotettaisiin nurmesta ennen biometaanin tuotantoa (ts. biometaanin tuotettaisiin kiintojakeesta), niin biometaanin tuotanto olisi edelleen kannattavaa. Kiintojakeesta saa tällä hetkellä suuremman tulon biometaanintuotannossa kuin esimerkiksi kuitupakkauksien valmistuksessa. Nurmiperäiselle kuidulle ei ole toistaiseksi riittävästi kysyntää. Nurmen puristuksen kiintojakeen käyttö biometaanin tuotantoon on riskittävämpi vaihtoehto kuin kuitumateriaalin tuotanto, sillä kuitumateriaalin teollisen mittakaavan valmistustekniikka puuttuu eikä kysyntää oikein ole, kun sekä neitseellistä puukuitua että kierrätyskuitua on vielä riittämiin.

Luken ja VTT:n Innofeed-hankkeessa (Innofeed 2018) nurmibiojalostus todettiin teknisesti toimivaksi ja monipuolisia arvoketjuja mahdollistavaksi, mutta hankkeessa tehdyissä kannattavuuslaskelmissa kokonaisuus jäi negatiiviseksi. Innofeedissa tutkittiin kiintojakeen kokonaisuhydrylyysiä ja näin valmistettujen sokereiden fermentointia yksisoluproteiinin tuottamiseksi, mikä eroaa tässä työssä tehdystä ajatuksesta hyödyntää kuitujae kuituina kuituvalospakkauksissa. Keskeisiä kannattavuuteen vaikuttavia asioita molemmissa arvioinneissa olivat korkea energiankulutus, jalostusketjun investointitarpeet sekä se, että tuotteet – kuten proteiinimehu, kiintofraktio ja hiilihydraattipitoinen jae – eivät saavuttaneet riittävän korkeaa markkinahintaa kompensoimaan kustannuksia. Innofeed-hankkeessa korostettiin, että biokaasun tuotanto ja biojalostus eivät ole vaihtoehtoja toisilleen vaan pikemminkin toisiaan täydentäviä prosesseja: biokaasu tarjoaa energiaa ja ravinnekierron kautta taloudellista ja toiminnallista tukea biojalostukselle, jonka kannattavuus yksinään jää helposti heikoksi etenkin varhaisessa kehitysvaiheessa.

Varsinais-Suomen näkökulmasta sekä tämän työn laskelmat että Innofeed-hankkeen (Innofeed 2018) tulokset viittaavat siihen, että paras lähestymistapa olisi integroitu malli, jossa biojalostamo ja biokaasulaitos toimivat yhdessä. Alueella on paljon maataloutta, runsaasti ravinnevirtoja sekä kasvavaa painetta ravinteiden kierrätykseen, mikä parantaa mädätyksen ja mädätteen hyödyntämisen houkuttelevuutta. Samalla Varsinais-Suomen teollinen rakenne ja logistinen sijainti voisivat tarjota edellytyksiä hukkalämmön hyödyntämiseen ja materiaalivirtojen jatkojalostukseen, mikä on keskeistä biojalostuksen kustannusten alentamiseksi.

Tulevaisuudessa nurmibiojalostuksen kannattavuus voisi parantua tällä alueella jos 1) proteiinijakeelle avautuu nykyistä korkeampi-arvoisia käyttökohteita, kuten erikoisrehut tai elintarvikkekäyttö, jos 2) kiintojakeelle kehittyä vakiintunut materiaalmarkkina esimerkiksi kuitupohjaisissa pakkauksissa sekä jos 3) energiakustannukset alenevat hukkalämmön, edullisen sähkön tai biokaasupohjaisen prosessienergian avulla. Ilman näitä muutoksia biojalostus jää helposti biokaasun varaan nojaavaksi lisäprosessiksi, mutta näiden toteutuessa se voisi muodostua Varsinais-Suomessa biokaasutuotantoa selvästi korkeamman arvonluonnin kokonaisuudeksi, jossa biokaasu toimii taloudellisena turvaverkkona eikä päätuotteena.

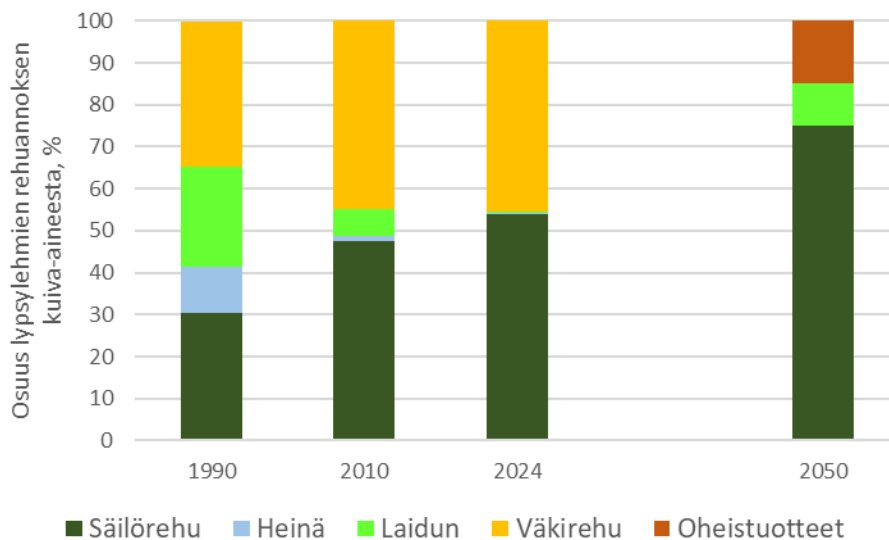
4.4. Eläintuotannon arvoketjut

4.4.1. Naudat muuntavat nurmen maidoksi ja lihaksi

Märehtijä muuttaa ihmisille kelpaamatonta kuitupitoista kasviravintoa lihaksi ja maidoksi pötsissä tapahtuvan mikrobifermentaation perustuvan ruoansulatusjärjestelmän avulla. Vaikka nurmen osuus nautojen rehuannoksessa on merkittävä, syövät naudat myös väkirehujä eli viljaa, erilaisia oheistuotteita ja valkuaistäydennysrehuja, joista tärkeimpänä rypsi-/rapsipohjaiset rouheet. Nurmen osuus rehuannoksessa vaihtelee eläinryhmittäin. Lypsylehmillä se on keskimäärin 55 % (Korhonen 2025) ja kasvavilla lihanautoilla 40–60 %. Nauta tulisi toimeen myös pelkällä nurmirehulla, mutta tuotostavoitteiden ja suhteellisen matalan viljan hinnan vuoksi väkirehujen osuus rehuannoksessa on suuri. Rehujen hintasuhteet voivat kuitenkin muuttua nopeastikin johtuen esimerkiksi tukipolitiikan muutoksista tai muista yllättävistä tekijöistä, jolloin nautojen ruokintaa voidaan biologian rajoissa muuttaa tarvittaessa nopeasti. Emolehmätuotannossa emot ruokitään pääasiassa pelkällä nurmirehulla eli kesällä laitumella ja sisäruokintakaudella säilörehulla. Nautakarjan ruokintaa pitäisi entisestään kehittää suuntaan, jossa rehuannos ei sisällä suoraan ihmisravinnoksi soveltuvia komponentteja.

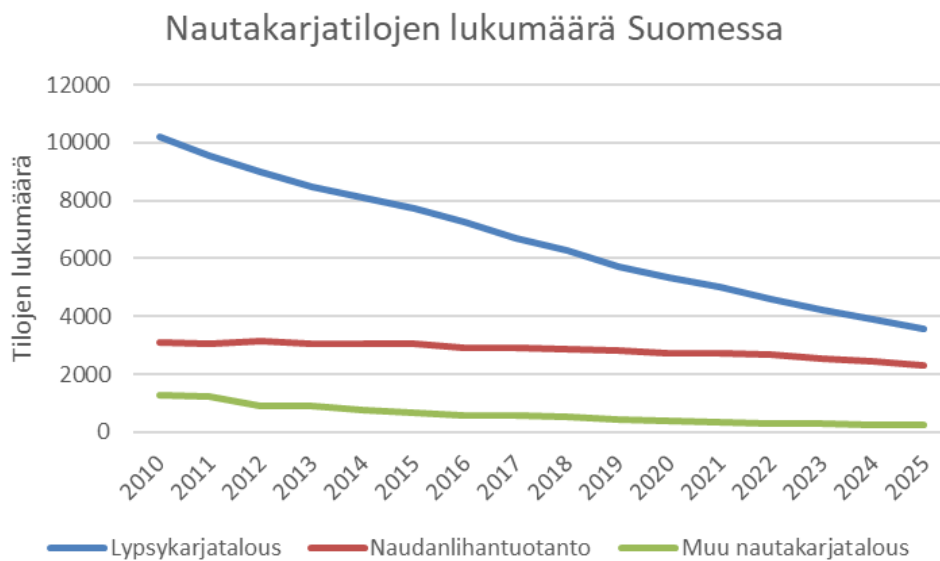
Näkemyksemme mukaan nurmen osuus nautakarjan rehustuksessa lähtee selvään kasvuun (Kuva 6). Kasvua siivittää pyrkimys entistä kestävämpään eläintuotantoon ja sen mahdollistaa nurmisäilörehun yhä parantuva laatu (ks. luku ”Nurmi säilörehuksi”). Myös nurmen hyödyntäminen laiduntamalla kasvaa lisäten positiivisia biodiversiteettivaikutuksia ja parantaen eläinten hyvinvointia sekä nautakarjatalouden imagoa. Nurmibiojalostamot tuottavat uusia nurmipohjaisia rehuaineita niin märehittäjille kuin yksimahaisillekin kotieläimille, mikä niin ikään lisää nurmen osuutta tuotantoeläinten rehuannoksessa.

Märehittäjätuotannon keskeisenä ongelmana on ilmastoa lämmittävä metaani, jota syntyy kuidun anaerobisessa hajotuksessa. Märehittäjän hiilipäästöt ovat biogeenisiä eli ne kierrättävät orgaanista hiiltä (ks. esim. Leino ym. 2023) ja nurmien viljelyllä on parempi maaperän hiilitase kuin yksivuotisilla kasveilla. Märehittäjän metaanipäästöjä voidaan vähentää myös lisääaineilla (Rinne 2025) tai rehuannoksen rasvapitoisuutta nostamalla (Ayanfe ym. 2025). Märehittäjien metaanipäästöjen vähentämistä on tutkittu runsaasti viime vuosikymmeninä, mutta yleisesti hyväksyttäviä, toimivia ja taloudellisia ratkaisuja on ollut vaikea löytää (Huhtanen 2024). Märehittäjien ilmasto- ja muiden ympäristövaikutusten vähentämisessä tulisi keskittyä resurssi- tehokkuuden kehittämiseen koko ketjun osalta rehuntuotanto huomioiden ja osioptimointia välttäen.



Kuva 6. Lypsylehmien rehuannoksen koostumuksen kehittyminen. Lähde vuosien 1990–2024 osalta: ProAgrian tilastot.

Nautoihin perustuvan ruoantuotannon tulevaisuustarkastelussa voidaan nähdä useita kehityskulkuja. Jos nautakarjatilojen nykyinen rakennekehitys jatkuu ja seuraamme kansainvälisiä trendejä, saamme sanoa hyvästit perheviljelmäpohjaisille tiloille (Kuva 7) ja näköpiirissä ovat suuret yhtiömuotoiset yksiköt, jotka voivat olla kansainvälisten pääomasijoittajien omistamia. Kotimaisia investointeja rajoittavat parhaillaan mm. rahoituslaitosten tiukentuneet lainaehdot. Tähän yhtenä ratkaisuna voisivat tulla maidontuotanto-osuuskuntien takaamat lainat. Tois- taiseksi tilakoon kasvu ja lehmien yhä nouseva tuotos ovat pitäneet Suomen vuosittaisen mai- dontuotannon volyymin lähes ennallaan tilojen ja lehmien lukumäärän laskusta huolimatta. Isot teolliset nautayksiköt toimivat tehokkaasti ja ammattimaisesti ja voivat tarjota hyvät olo- suhteet niin työntekijöille kuin eläimille, mutta ne muuttavat peruuttamattomasti tuotannon luonnetta. Tällainen kehityslinja voi kohdata merkittäviä haasteita tuotannon hyväksyttävyyden näkökulmasta. Esimerkiksi laidunnus on nautatilojen kasvaessa yhä vaikeampaa järjestää.



Kuva 7. Nautakarjatilojen lukumäärä Suomessa. Lähde: Luke 2026a.

Pienemmät perheviljelmäpohjaiset tilat nähdään vastavoimana tilakoon kasvulle ja massatuotannolle (Latvala ym. 2025) ja on tulevaisuuden visiona, vähintäänkin rinnakkaisena vaihtoehtona, mahdollinen. Tällaiselle kehityskululle tulee kannatusta paitsi kuluttajien myös maatalousyrittäjien ja potentiaalisten tulevien maatalousyrittäjien suunnalta (Kuhmonen & Tembo 2025). Suurtilojen vastapainona toimivien pienempien nautayksiköiden kilpailutekijöitä ovat vahva brändäys, paikallisten voimavarojen ja verkostojen hyödyntäminen, agroekologinen lähestymistapa ja kriisinkestävyys (mm. biologisen typensidonnan tehokas hyödyntäminen, energiaomavaraisuus). Pienemmät yksiköt lienevät kriisinkestävämpiä kuin suuret teolliset yksiköt mm. Ukrainan sodan kokemusten perusteella. Toisaalta koko maataloussektori on hyvin riippuvainen monista tilan ja jopa Suomen ulkopuolelta tulevista tuotantopanoksista kuten energiasta, teknologiasta, lannoitteista ja valkuaisrehuista (Jansik ym. 2021). On muistettava, että perheviljelmäpohjainenkin maitotila on tulevaisuudessa investointivaltainen high-tech-yritys lypsyrobotteineen ja monenlaisine teknologisine ratkaisuineen.

Suomessa maidon ja naudanlihan toimintaympäristö on erittäin laadukas useilla mittareilla mitattuna (Rinne & Virkkunen 2021). Vahvuksiamme ovat mm. eläinten korkea geneettinen taso ja hyvä terveys, pieni mikrobilääkkeiden käyttö, matala eläintiheys, laadukas nurmirehu, korkea rehuomavaraisuus tiloilla tukien lannan ravinteiden tehokasta kierrätystä, korkea tuottajien ammattitaito, toimiva infrastruktuuri alkutuotannossa, tuotteiden jalostuksessa ja jakelussa, tehokas hallinto (tukijärjestelmät, eläinterveys), sekä tuotekiloa kohden laskettuna kansainvälisesti pienet metaanipäästöt. Suomalaisena erityispiirteenä lypsylehmille syntyvät sonnivasikat sekä lehmävasikat, joita ei tarvita uudistuseläimiksi, siirretään naudanlihantuotantoketjuun. Systeminä tämä on ympäristövaikutusten kannalta edullisempi kuin tuotanto, jossa maidon- ja lihan tuotanto on täysin eriytetty eli vasikat lihantuotantoa varten syntyvät emolehmäkarjoissa.

Ruokakulttuurin arvostus ja syvyys Suomessa ovat kuitenkin vaatimattomia verrattuna esimerkiksi Ranskan ja Italian maailmanlaajuisesti tunnettuihin brändeihin, joten lisäarvon saaminen tuotteille markkinoilta on haastavaa ja olemme jääneet ns. laadukkaan bulkin tuottajiksi. Tavoitteena jatkossa on maabrändin vahvistamisen ja vientituotteiden arvonnisan nostaminen tuotekehityksen avulla. Ympäristö- ja eläinystävällinen aidosti nurmeen pohjautuva maidon- ja lihantuotanto voisi olla vientivaltti tulevaisuudessa.

4.4.2. Hevoset, lampaat ja porot ylläpitävät monipuolista nurmiviljelyä

Nautojen lisäksi hevoset, lampaat ja porot ovat merkittäviä nurmirehujä käyttäviä eläinryhmiä. Viime vuosien suuntauksien mukaan näiden eläinryhmien lukumäärät ovat suhteellisen vakaat tai pienessä laskussa. Hevosia ja poneja on hieman alle 70 000 (Hippolis 2024) kun lampaiden lukumäärä on noin 110 000, josta puolet uuhia ja puolet karitsoita (Luke 2026). Porojen enimmäismäärä 203 700 on lainsäädännöllä määritetty ja on käytännössä jonkin verran sen alle (Paliskuntain yhdistys 2026).

Jos hevosen arvioidaan syövän nurmirehua keskimäärin 6 kg kuiva-aineena päivässä, tarvitaan hevosten rehuntuotantoon noin 30 000 ha peltoa. Lampaiden rehunkulutusarvion perusteella nurmialan tarve on noin 15 000 ha. Porojen käyttämästä nurmirehujen määrästä ei ole olemassa tietoja, mutta käyttämällä karkeaa arvioita 1 kg ka päivässä puolen vuoden ajan ja olettamalla että 80 % eloporoista saa lisäruokintaa talvisin, tarvittava nurmiala olisi eloporojen määrän mukaan n. 5 000–6 000 ha. Hehtaarimäärälaskelmissa satona on käytetty 5 000 kg ka/ha.

Yhä keinotekoisuammassa ja digitalisoituvammassa maailmassamme kotieläintuotantokin on tilojen lukumäärän vähenemisen ja bioturvallisuussyiden takia rajattu tavallisten kansalaisten kosketuspinnan ulkopuolelle, mutta hevosala tarjoaa edelleen mahdollisuuden suoraan yhteyteen suurten kotieläinten kanssa. Tällä voi olla monenlaisia fyysisiä ja psykososiaalisia hyötyjä ja jopa positiivinen vaikutus ihmisten immunitettiin ja mikrobiomiin.

Hevoset ovat nurmirehujen hyödyntäjinä poikkeava eläinryhmä, sillä niillä nurmirehujen kuidun mikrobifermentaatio tapahtuu paksu- ja umpisuolessa eikä pötsissä niin kuin märehtijöillä. Runsas nurmirehun syönti on tunnustettu keskeiseksi hevosten hyvinvointitekijäksi. Hevostallit myös ostavat paljon heinää ja esikuivattua säilörehua, mikä on luonut markkinat hevosten nurmirehujä tuottaville ja myyville yrityksille.

Lammasalan vahvuuksia ovat luonnonmukaisuus (lähes 20 % lampaanlihasta on sertifioitua luomutuotantoa; Ruokafakta 2026), käsityöläisyys ja positiiviset vaikutukset mm. perinnetuotannon ylläpitämiseen. Laidunnuksen laajentamista rajoittavat sekä perinteisten aitojen korkeat kustannukset että suurpetojen aiheuttamat riskit, mikä heikentää nurmentuotannon tehokkuutta ja jatkuvuutta. Virtuaalialtojen käyttöönotto voisi vähentää työmäärää ja mahdollistaa laajemman laidunnuksen, jos lainsäädäntö sallisi niiden käytön kuten monissa muissa maissa.

Poro on keskeinen osa Pohjois-Suomen luontoa, kulttuuria ja elinkeinoelämää, ja poronhoito siirtyy perheissä sukupolvelta toiselle säilyttäen perinteisen porokulttuurin (Heikkinen ym. 2012, Soppela & Turunen 2017). Poro on myös merkittävä matkailun vetonaula ja osa Suomen arktista brändiä, jossa korostuvat poroelämykset ja eettisesti tuotettu poronliha. Vuonna 2024 poronlihaa tuotettiin 1,7 miljoonaa kiloa (Ruokatieto 2025). Poronhoitoalue kattaa noin 36 % Suomen pinta-alasta, ja porot laiduntavat vapaasti luonnonlaitumilla (Poronhoitolaki 848/1990). Viime vuosikymmeninä poroeläinkehitys on joutunut sopeutumaan ilmastonmuutoksen, muun maankäytön ja petokantojen kasvun aiheuttamiin muutoksiin, jotka heikentävät porojen luontaista ravinnonsaantia. Talvilaitumien heikentyminen on lisännyt talviaikaisen lisäruokinnan tarvetta, ja lähes kaikissa paliskunnissa poroja ruokitaan nykyään ainakin osittain lisärehuilla (Kumpula ym. 2022). Lisäruokinta turvaa porojen kunnon, vasatuoton ja poroeläinkehityksen jatkuvuuden erityisesti silloin, kun luonnonravinto ei riitä. Nurmisäilörehun käyttö on yleistynyt edullisuuden ja Pohjois-Suomen olosuhteissa onnistuvan tuotannon vuoksi, mutta sen haasteena ovat suuret laatuvariaatiot. Poroille sopiva rehu ei saa olla liian valkuaispitoista,

karkeaa, märkää tai huonosti säilynyttä. Porojen talviaikainen lisäruokinta lisää nurmen rehu-käyttöä Pohjois-Suomessa mutta rehun määrästä ei ole tarkkoja tietoja. Karkean arvion mukaan tuotantoala voisi olla n. 7 000 ha nurmea.

4.5. Nurmiviljely tarjoaa useita ekosysteemipalveluja

Ekosysteemipalvelulla tarkoitetaan luonnon tarjoamia hyötyjä ihmisille ja ne syntyvät ekosysteemien toiminnasta. Ne voivat olla 1) suoria tuotantopalveluita, kuten ruoka 2) säätelypalveluita, kuten pölytys ja eroosion ehkäisy 3) kulttuuripalveluita, kuten maisema-arvot 4) tukipalveluita, jotka mahdollistavat muut palvelut, kuten ravinteiden kierto tai maaperän muodostuminen. Nurmilla voidaan nähdä rooli kaikissa ekosysteemipalveluiden osa-alueissa. Ekosysteemipalveluille on tyypillistä, että niiden tarjoamat hyödyt ovat usein aineettomia eikä niillä ole hintaa. Ne koetaan itsestään selvinä eikä kenenkään tarvitse niistä maksaa. Nurmen tarjoamille ekosysteemipalveluille pitäisi määrittää markkina-arvo ja ekosysteemipalvelujen tuottaminen tunnistaa yhtenä arvoketjuna.

Nurmien biologia, erityisesti monivuotisuus ja siihen osin liittyvä runsas juuristo sekä biologialtaan moninainen lajisto edesauttavat ekosysteemipalveluiden muodostumista (Rasse ym. 2005, Dignac 2017). Nurmet ovat erittäin sopeutuvaisia, minkä vuoksi ne menestyvät ja tuottavat satoa vaativissakin olosuhteissa, joissa muut ravintokasvit eivät kasvat. Nurmet ovat erittäin tehokkaita ravinteiden hyödyntäjiä. Nurmikasvien avulla voidaan kiertoon saada tyypeä ja varastoravinteita (mm. Virkajärvi ym. 2014, Louhisuo ym. 2024, Nykänen 2008).

Riippuen nurmityypistä ja sen lajistosta, nurmet voivat esimerkiksi lisätä tai ylläpitää maan hyvää rakennetta ja biologista aktiivisuutta, sitoa tyypeä (nurmipalkokasvit), hillitä eroosiota, lisätä lajistollista monimuotoisuutta, tarjota pölyttävälle hyönteisille ravintoa sekä olla osana moninaista maatalousmaisemaa. Nurmet kestävät kuivuutta ja toisaalta tasaavat tulvahuippuja. Myös nurmiviljelyn potentiaali sitoa tai hidastaa hiilen vapautumista peltomaasta (Kätterer ym. 2013) on yksi nurmien ekosysteemipalveluista.

Nurmet lisäävät usean eliöryhmän lajiston monimuotoisuutta (Tiainen ym. 2020, Hyvönen ym. 2021). Monivuotiset nurmet ilman muokkaustoimia hyödyttävät maaperäeliöstöä kuten lie-roja (Nieminen ym. 2011). Nurmien osuuden kasvu lisää avoimella maatalousmaalla pesivien lintulajien monimuotoisuutta (Ekroos ym. 2019) sekä runsautta (Herzon ym. 2011). Sen sijaan yksipuolinen ruokohelven viljely vaikuttaa negatiivisesti maatalouden pesimälinnustoon (Vepsäläinen 2010). Pölyttäjähönteisille parhaita nurmia ovat luonnonhoitonurmet, joissa on hönteispölytteisiä kasveja kuten nurmipalkokasveja (Toivonen ym. 2022). Viljavaltaisilla maatalousalueilla nurmet ja laiduntavat eläimet lisäävät maatalousmaiseman monimuotoisuutta, jonka on havaittu lisäävän maiseman virkistysarvoa (Grammatikopoulou ym. 2012, Pouta ym. 2014).

Maatalouden ympäristöpolitiikassa erilaiset nurmet ovat keskeisiä toimenpiteitä, koska ne edistävät useita ympäristötavoitteita (Hyvönen ym. 2020, Hyvönen ym. 2025). Lajiston monimuotoisuutta parhaiten edistävät luonnonhoitopeltonurmet, suojavyöhykkeet ja niitypellot (Hyvönen ym. 2020). Pitkäaikaisilla luonnonhoitopeltonurmilla ja suojavyöhykkeillä kasvillisuus voi kehittyä monimuotoiseksi (Toivonen ym. 2022), mikä edistää muidenkin eliöryhmien lajiston monimuotoisuutta. Sen sijaan niitypeltojen heikkoutena oli niiden lyhytaikaisuus, vaikka ne ovatkin erityisesti pölyttäjille arvokkaita. Luonnonhoitopeltonurmien suuri pinta-ala

tekee siitä tärkeimmän peltoluonnon monimuotoisuutta edistävän toimenpiteen (Hyvönen ym. 2025).

Ympäristönurmet muodostavat huomattavan nurmialan (esim. vuonna 2024 luonnonhoito-, viherlannoitus-, ja suojavyöhykkeiden yhteisala 125 000 ha). Näiltä nurmialoilta on sallittua kerätä satoa, joten ne voisivat lisätä biojalostamoja varten tuotettavan nurmibiomassan määrää. Tämä lisäisi ympäristönhoidon taloudellista tuottoa, jolloin siitä tulisi houkuttelevampi toimi myös viljelijän näkökulmasta.

5. Tulevaisuuden nurmiviljely

5.1. Viljelytekniset kehityskohteet

Tässä raportissa on esitetty, miten nurmentuotantoon pohjautuvat arvoketjut voisivat kehittyä vuoteen 2050 mennessä. Merkittäviksi kehityssuunniksi on tunnistettu nurmen hyödyntämisen raaka-aineena energian tuotannossa sekä biojalostamoissa. Biojalostamoilla on teknologisia mahdollisuuksia tuottaa nurmesta erilaisia proteiini-, kuitu- ja nestemäisiä jakeita, joiden jatkojalostus esimerkiksi yksimahaisten tuotantoeläinten rehuksi tai pakkausmateriaaleiksi ovat esimerkkejä tulevaisuuden tuotteista. Biojalostamot ja biokaasulaitosten nurmiraaka-aineen tuotanto voi tulevaisuudessa olla sekä kasvintuotanto- että eläintilojen tulonlähde. Nauktarjalouteen kiinteästi liittyvä nurmituotantoon merkittävin kehityssuunta on tuotannon kokonaiskestävyyden lisääminen. Nurmet näyttävät tulevaisuudessa isoa osaa myös kasvinviljelytiloilla, joiden alus-, väli- tai kerääjäkasveina nurmet todennäköisesti entisestään lisääntyvät. Kasvinviljelytila voi myös yhä enenevässä määrin viljellä nurmirehua kotieläintilalle tai erikoistua hevosheinän tuotantoon. Myös heinä- ja palkonurmikasvien siementuotanto voi tuoda tiloille taloudellista hyötyä nurmen viljelystä.

Nurmen käyttötarkoitus määrittää nurmisadolta ja sen viljelyltä vaadittavia ominaisuuksia. Tähän kappaleeseen on koottu merkittäviä nurmenviljelyn pullonkaloja ja kehittämiskohteita, joiden ymmärtäminen on keskeistä pyrittäessä nurmentuotannon monipuolistamiseen ja laajentamiseen. Taulukko 12 kokoaa nurmiviljelyn vahvuudet ja heikkoudet (SWOT-analyysi). Taulukossa on pohdittu tulevaisuuden mahdollisuuksia ja uhkia, jotka voivat estää tai edistää nurmituotannon tulevaisuuden näkymiä. Nurmentuotantoa kehitettäessä vahvuuksia tulisi edelleen vahvistaa ja mahdollisuuksia hyödyntää, heikkoudet korjata ja kehityksen uhat torjua.

Taulukko 12. Nurmien viljelyn SWOT-analyysi koostaa nurmituotannon vahvuudet, heikkoudet, uhat ja mahdollisuudet.

VAHVUUS (vahvista)	HEIKKOUEDET (korjaa)
<ul style="list-style-type: none"> - Monivuotisuus - Satoisuus - Ylläpitää maaperän hiilivaroja - Viljeltävissä koko Suomessa - Suhteellisen vaatimaton viljelypaikan suhteen (pH, ravinteisuus, vesitalous) - Tehokas ravinteiden hyödynnyks (mukaan lukien reserviravinteet maaperässä) - Suojaa maaperää eroosiolta - Peltokasvien viljelykierron monipuolistaja - Lajikejalostusta myös Suomessa - Lisää biodiversiteettiä (erityisesti laitumet ja perinnebiotoopit) - Vahvoja arvoketjuja jo olemassa 	<ul style="list-style-type: none"> - Korkea vesipitoisuus lisää kuljetuskustannuksia - Ei sovi jalostamattomana yksinomaiseksi rehuksi yksimahaisille - Satojen koostumus vaihtelee - Yksilajisten nurmien (erityisesti nurmipalkokasvit) talvuhoriskit - Säilöntä- ja korjuutappiot - Tuotantosuuntien alueellinen eriytyneitä (Vilja-Suomi ja Nurmi-Suomi), mikä heijastuu esimerkiksi konekantaan ja osaamiseen - Tuotantotekniikan heikko soveltuvuus nurmipalkokasvien laajaan hyödyntämisen (koneketjut, kasvinsuojelu)
MAHDOLLISUUDET (hyödynnä)	UHAT (torju)
<ul style="list-style-type: none"> - Monitasoinen teknologinen kehitys (panostuotanto, raaka-ainetuotanto, logistiikka, jalostus, täsmäviljely, laidunnus) - Satotasojen nosto - Monipuolinen lajisto - Märehtijätuotteilla vakiintuneet markkinat koti- ja ulkomailta - Ekosysteempalveluiden laajempi hyödyntäminen 	<ul style="list-style-type: none"> - Kangistava maatalouspolitiikka - Tuotannon kasvava energiariippuvuus - Ilmastonmuutos (sään ääri-ilmiöt, uudet kasvitautit ja rikkakasvit) - Peltojen peruskunnon rapautuminen (mm. kuivatusvelan kasvu) - Eläintuotannon yleinen hyväksyttävyyys - Märehtijätuotannon pääomavaltautuminen ja investointien huonot rahoitusmahdollisuudet

5.1.1. Viljeltävän nurmilajiston kehitys

Kun katsotaan vuoteen 2050, nurmilajiston kehityksessä korostuvat tarpeet lajien ja lajikkeiden stressinsietokyvyssä (kuivuusjaksot, vaihtelevat talvehtimisolosuhteet, tautien kestävyys, kilpailukyky rikkakasveja vastaan) sekä kestävien typensitojakasvien jalostus. Lisäksi uudenlaiset biokiertoalouden prosessit tulevat vaatimaan raaka-ainelähteiltään uudenlaisia ominaisuuksia kuten korkeaa proteiinipitoisuutta tai pitkäketjuista kuitua. Tämä voi toisaalta monipuolistaa tuotantoa, toisaalta se on haaste lajikkeiden kehitykselle.

Suomessa kasvatettavilta nurmikasvilajeilta ja -lajikkeilta vaaditaan talvenkestävyyttä ja satoisuutta. Yleisimmät heinänurmikasvit timotei, nurminata ja ruokonata talvehtivat Suomessa hyvin. Nämä nurmiheinät (etenkin timotei) pystyvät hyödyntämään Suomen oloissa viistosti tulevaa auringon tulosäteilyä tuottaen siten biomassaa korkeuskasvullaan. Tämä on olennainen ero useille eteläisimmille alueille, jossa auringon tulosäteily tulee lähes kohtisuoraan. Tällaisissa olosuhteissa sadontuottoon vaikuttaa kasvuston tiheys, mikä on yksi syy nurmilajiston eroihin Suomeen verrattuna.

Talvenkestävyys rajoittaa lajiston monipuolistamista nurmituotannossa. Syksyn karaistuminen on tärkeä talvesta selviämisen ominaisuus pohjoisen valtarehukasveilla timoteilla ja nurminadalla. Useilla timoteilajikkeilla kasvu pysähtyminen ja karaistumiseen vaadittavien energiavarojen kerryttäminen onkin päivän pituuden ohjaamaa. Ilmastonmuutoksen myötä lumipeitteisen ajan lyheneminen ei muuta valo-olosuhteita kasvulle suotuisaksi. Päinvastoin talven lämpöjaksot voivat jopa purkaa karaistumisen ja lisätä talvihuojen riskiä. Ilmastonmuutoksen vuoksi syksyjen lämpeneminen ja karaistumisen siirtymisessä eri valo-olosuhteisiin vaatisi tutkimustiedon päivitystä kaikissa nurmeen pohjautuvissa tuotantovaihtoehdoissa. Myös karaistumisen purkautumisen aiheuttavia keskitalven oloja tulisi tutkia.

Kasvukaudet pitenevät, mutta myös lämpenevät. Erityisesti pohjoiseen mentäessä pelkkä lämpötilan nousu on jo nyt ollut nopeaa ja näkyy virallisten lajikekokeiden kasvaneena nurmisatona (Niemeläinen ym. 2020). Kuitenkin Hellton ym. (2023) arvioivat, että tietyillä alueilla kuivuus tulee laskemaan ainakin timotein satoja. Lisääntyneiden kuivien ajanjaksojen määrän on ennustettu leikkaavan satoja 12–17 % (Mäkinen ym. 2015). Timoteivaltaisen nurmen kasvuille optimaalinen lämpötila vaihtelee 17–21 °C asteessa, kun helle aiheuttaa lämpöstressiä, joka pahenee helteen yhdistyessä kuivuuteen. Kasvit tuhlaavat vettä, koska läpi virtaava vesi myös jäähdyttää kasvia. Tulevaisuudessa sato-ominaisuuksien ja talvenkestävyyden rinnalle kriittiseksi ominaisuudeksi on nousemassa kuivuudensieto. Ilmastonmuutoksen on arvioitu vaikuttavan sadon määrän lisäksi myös sen koostumukseen. Rehuntuotannossa tämä voi tarkoittaa esimerkiksi rehun sulavuuden nopeaa laskua helleaallossa. Kuivuuden on havaittu alentavan myös nurmisadon P-pitoisuutta ja sitä kautta satoon otettavan P:n määrää. Nurmiseosten ja puhdaskasvustojen kuivuuden sietoon panostaminen on tärkeää Etelä-Suomen savimailloilla ja alueilla, joissa nurmien avulla tavoitellaan maan fosforiluvun alentamista yhdistämällä biojalostamoja, biokaasulaitoksia ja biokaasulaitoksen mädätettä lannoitevalmisteeksi jalostavaksi laitossysteemiksi. Heinänurmien viljelyn vaihtoehdoksi biojalostamoiden tarpeisiin tarvitaan todennäköisesti entistä useammin myös nurmipalkokasveja sekä muita vaihtoehtoisia kasveja. Myös kotieläintilat hyötyisivät laajemmasta viljelykasvien lajivaihtoehdoista.

Lähivuosisikymmeninä nurmipalkokasveista mailasten (*Medicago sativa* spp, sini- ja rehumailaset) **viljelyn yleistyminen on todennäköistä** (Parsons ym. 2024). Mailaset ovat kuivuutta sietäviä ja syvällä juuristollaan maata muokkaavia kasveja. Ne ovat kuitenkin biologialtaan sopeutuneita mannerilmastoon, minkä vuoksi Suomen sateiset syksyt ovat heikentäneet

niiden talvenkestävyyttä. Etsittäessä tulevaisuuden nurmilajeja ja -lajikkeita jalostettavaksi uudenlaisiin pohjosiin olosuhteisiin on siis etsittävä uutta vaihtelua eksoottisesta materiaalista ja lupaavimmat linjat on sisällytettävä nykyisiin lajikkeisiin.

Kasvit, joiden biomassan tuotanto on riippuvainen päiväpituudesta (riittävän lyhyt) tai joiden sadontuottokyky on riippuvainen riittävän pitkästä päivästä loppukasvukaudesta eivät tule soveltumaan Suomen viljelyyn ilman merkittävää jalostustyötä. Tästä hyvänä esimerkkinä on C4-kasvit maissi ja hirssi (Saarinen ym. 2012) sekä durra ja sudaninruoho. C4-kasvit ovat lämpimiin olosuhteisiin, ja korkeaan auringon tulosäteilyyn sopeutuneita yksi- tai monivuotisia kasveja. Lämpimässä ilmastossa niillä on useita etuja verrattuna tavallisiin C3-kasveihin, erityisesti hyvä vedenkäytön tehokkuus. Lupaavimpia tutkimustuloksia Suomessa on saatu lähinnä maissista (Lehtilä 2024). Muiden kokeiltujen lajien kuten hirssin (Sweet millet) tulokset ovat olleet varsin heikkoja ja ne tuskin menestyvät, saati talvehtivat Suomessa nurmikasvuston seassa.

Nurmipalkokasvien lisäämistä viljelyyn tavoitellaan paitsi monimuotoisuuden, myös typiomavaraisuus näkökulmasta. Näihin tavoitteisiin pääsemiseksi tarvitaan monivuotisia lajeja, joiden viljelyvarmuus täyttää satoisuudelle ja sen ominaisuuksille asetettavat tavoitteet.

5.1.2. Nurmen korkea vesipitoisuus ja koostumuksen vaihtelut

Tässä raportissa käsitellyssä esimerkissä biojalostamoon tarvittavan nurmiraaka-aineen tulee olla kuivaa. Pellolla tapahtuvan esikuivatusvaiheen jälkeen heinänurmisadon kuiva-ainepitoisuus vaihtelee noin välillä 45–85 %. Tarpeen mukaan kuivatusta jatketaan kuivurissa, jolloin tavoitteellinen kuivaheinän kuiva-ainepitoisuus on >85 %. Pitkä esikuivatus on merkittävästi sääriippuvaista ja vaatii usein noin viiden vuorokauden poutajakson, eikä myöskään kastetta saisi esiintyä. Käytännössä se onnistuu vain nurmen ensimmäiselle sadolle. Nurmipalkokasveja sisältävän nurmen kuivatus näin kuivaksi on erittäin haastavaa, koska esimerkiksi apilan ka-pitoisuus on luontaisesti heinää selvästi alhaisempi. Lisäksi apiloiden ja mailasten lehdet kuivuvat nopeammin kuin korsi. Tämä lisää lehtien karisemistappioiden riskiä peltokuivatuksen aikana pöyhimisen, karhotuksen ja korjuun yhteydessä ja kasvattaa sadon laadun vaihtelua. Lehtien karisemisriski on erityisen suuri kaikkein kuivimpia eriä korjattaessa. Karisemista voi pyrkiä minimoimaan kone- ja työtekniisillä ratkaisuilla (mattokarhotin, karhon- ja noukinleveyden yh-teensovittaminen jne.), mutta todennäköisesti tarvitaan myös uutta laitekehitystä ja/tai peltoliikenteen suunnittelua. Suurin painoarvo on kuitenkin sääennusteiden tarkkuuden parantamisella, sillä sateella jo kuivuneista ja rikkoutuneista kasvisoluista huuhtoutuu huomattava määrä vesiliukoisia yhdisteitä pois, mistä aiheutuu tappiota biojalostamon raaka-aineeseen.

Nurmibiomassan koostumus on eri lajeilla hieman erilainen. Suurimmat erot ovat kasvi-ryhmien välillä eli heinät vs. palkonurmikasvit (ks. esim. Luke 2026b). Moni ominaisuus muuttuu nurmen kehityksen mukaan ja myös ympäristöolosuhteet vaikuttavat koostumukseen. Esimerkiksi kuitupitoisuus nousee ja valkuaispitoisuus laskee kasvuston vanhentuessa ja sadon lisääntyessä (ks. esim. Luke 2026b). Myös typen saatavuus lannoitteista, lannasta tai maaperästä vaikuttaa valkuaispitoisuuteen. Nurmipalkokasveilla typpipitoisuus on heiniä korkeampi ja NDF-kuitupitoisuus matalampi. Sen sijaan sulamatonta iNDF-kuitua on enemmän. On huomion arvoista, että korjuunajankohta vaikuttavat merkittävästi kasvuston koostumukseen ja esimerkiksi ligniinipitoisuus kasvaa kasvuston ikääntyessä.

Thers ym. (2021) vertailivat viiden rehulajin proteiinin laatua Cornellin hiilihydraatti- ja proteiinijärjestelmän (CNCP) avulla biojalostukseen sopivan biomassan tunnistamiseksi. Biomassan ja proteiinkonsentraatin analyysit osoittivat, että palkokasveilla oli korkein

proteiinipitoisuus konsentraatissa, mikä korostaa niiden etua proteiinin uuttamisessa. Heinillä sen sijaan suuri osa liukoisesta proteiinista jäi kuitumaiseen massafraktioon. Nurmiraaka-aineen koostumus vaikuttaa siis suoraan massan pitoisuuksiin. Koostumuksen hallinnan tarpeesta ja keinoista kerrotaan lisää kappaleessa 5.1.3 biologisen typensidonnan haasteet.

Rehun kannalta proteiinin määrän lisäksi ratkaisevaa on aminohappokoostumus. Heinistä, apilasta ja sinimailasta uutettu proteiiniitiviste sisältää runsaasti lysiiniä ja metioniinia, mutta vähemmän kysteiniä, mitä korkeampi metioniinipitoisuus ravitsemuksellisesti kompensoi. Tämän ansiosta proteiiniitiviste voi korvata soijapapujauhon siipikarjan rehussa ja tarjota nurmiproteiinille edun soijaan verrattuna (Stødkilde ym. 2019). Tämä on huomattava etu luomutuotannossa, jossa synteettisten aminohappojen käyttö on kielletty. Luomutuotannon edellytysten vahvistaminen palvelisi myös vientiä, jossa edelleen on hyödyntämätöntä potentiaalia.

Tutkimus pohjoisissa oloissa tuotetun rehuraaka-aineen ominaisuuksien vaikutuksesta lopputuotteiden proteiinisaantoon ja aminohappokoostumukseen nurmibiojalostamoissa on vasta alkumetreillä. Vaikka biokaasulaitokset ovat nurmisyötteen suhteen suhteellisen robusteja, niin myös perinteinen nurmituotanto voisi hyötyä nurmiraaka-aineen paremmasta tuntemuksesta. Esimerkiksi märehitjätuotannossa seosrehuruokinnan yleistymisen on antanut paljon mahdollisuuksia rehuannoksen optimointiin, mutta tuotosvasteet pohjautuvat pääosin erillisruokinnassa saatuihin tuloksiin. Lisäksi aminohappokoostumuksen tutkimus märehitjätuotannossa on sen haasteellisuuden vuoksi ollut vähäistä. Näissä olisi päivittämisen tarvetta.

5.1.3. Biologisen typensidonnan haasteet

Palkokasvien biologisen typensidonnan hyödyntämisessä on suuri käyttämätön potentiaali (Vainio 2022). Laajamittaisella nurmipalkokasvien viljelyllä voitaisiin vaikuttaa merkittävästi viljelyn ilmastovaikutuksiin (erityisesti N₂O ja lannoitteiden valmistuksen päästöt) sekä ruoantuotannon huoltovarmuuteen. Ongelmana on typensitojakasvien (apilat, mailaset) heikko viljelyvarmuus, joka johtuu kasvien biologian lisäksi osaamisen puutteesta ja jossain määrin myös asenteista. Typensitojakasvien laajamittainen viljely vaatisi osaamisen lisäksi viljelyyn uusia viljelijää helpottavia menetelmiä. Näihin lukeutuvat ratkaistavat ongelmat kasvinsuojelussa (mm. käytön ajoitus viljelykierron, aineet), lajikkeiden kestävyudessa (mm. siemenseosten koostumus, niittorytmi, ravinnehuolto, lajikkeiden taudinkestävyys) ja viljelytoimenpiteiden ennakoinnissa (mm. lannoituksen ja korjuun ajoitus) sekä itse rehuraaka-aineen käytön suunnittelua tukevat ratkaisut ruokinnassa, biokaasulaitoksen syötteenä tai nurmibiojalostamossa (mm. rehuanalytiikan). Nurmipalkokasvien tutkimus vaatii pitkiä aikasarjoja ravinteiden kierron ja kasvitautien selvittämiseksi. On huomionarvoista, että luomutuotannossa typpilannoitus perustuu jo nyt biologiseen typensidontaan ja orgaanisiin lannoitteisiin.

Monilajiisiin nurmiin liittyy paljon odotuksia positiivisista ympäristövaikutuksista (De Deys ym. 2009, Fornara & Tillman 2008, Vogel ym. 2012), mutta pohjoisissa tuotanto-olosuhteissa intensiivisesti viljellyillä nurmilla tehtyjen tutkimusten määrä on hyvin rajallinen (mm. Norderhaug ym. 2023). O'Malley ym. (2025) julkaisivat laajan katsauksen monilajisten seosten satoeroista monokulttuureihin nähden. Tulokset olivat rohkaisevia, vaikka tämänkään katsauksen kenttätutkimukset eivät sisältäneet tutkimustuloksia Suomen olosuhteista.

Mahdollisuuksia monipuolisten seosten koostamiseen on paljon ja uudet lajit ja niiden lajikekehitys mahdollistavat sellaisten nurmiheinä- ja nurmipalkokasvilajien viljelyn vakiintumisen, joihin tällä hetkellä liittyy epävarmuuksia ja riskejä. Seosnurmiin viljelyteknisen osaamisen ja oikeiden seossuhteiden hakeminen parantavat viljelijöiden kykyä sopeutua

ilmastonmuutokseen. Tulisi siis huolehtia viljelytekniisten ratkaisujen tutkimisesta. Lisäksi tarvitaan erilaisia palveluja tukemaan viljelijöiden päätöksentekoa. Tällaisia voisivat olla monilajisten nurmien korjuu-aikajärjestelmät, koostumuksen ennakoimista helpottavat sovellukset ja viljelyolosuhteisiin räätälöidyt seokset. Näistä tutkimuksista hyötyisivät sekä märehittämistuotanto että nurmen uudet käyttömuodot.

5.1.4. Suureneva tilakoko muuttaa tuotantoa

Kasvava tilakoko tuo nurmituotannolle sekä mahdollisuuksia että haasteita. Suurilla tiloilla resurssit konekannan monipuolistamiselle ovat usein pienempiä tiloja paremmat (Jauhiainen & Rajala 2025). Tämä voi parantaa edellytyksiä kasvinviljelytilojen viljelykierron monipuolistamiseen nurmikasveilla (esim. siementuotantonurmet, biojalostamon raaka-ainetuotanto). Nurmituotannon monipuolistamiselle, kuten monilajisten nurmien viljely tai perinnebiotooppien ylläpito, tilakoko sen sijaan voi olla haaste. Tuotannon tehostuessa ja tilakoon kasvaessa tavoite on tuottaa koostumukseltaan samanlaista rehua, jotta viljelytoimien ja ruokinnan suunnittelun/biojalostusprosessin ennakoitavuus olisi mahdollisimman suuri. Tämä onnistuu parhaiten viljelemällä muutaman lajin heinänurmia. Myös laiduntamisen ja perinnebiotooppien määrä on tilakoon kasvaessa vähentynyt (Lehikoinen ym. 2024). Laiduntamisen ja perinnebiotooppien ylläpitäminen on maatalousympäristöjen kasvi-, lintu- ja hyönteislajiston monimuotoisuudelle keskeistä. Tilakoon kasvu ja sitä kautta lohkokoon kasvu yksipuolistaa maatalousmaisemaa. Rikkaan lajiston ylläpidolle on olennaista monipuoliset elinympäristöt, joita tukevat mm. pientareet ja metsäsaarekkeet peltomaisemassa.

Iso tilakoko ei automaattisesti johda haitallisempiin ympäristövaikutuksiin. Kun tilakoon merkitystä tuotannon ympäristövaikutuksiin arvioidaan, nousee keskusteluun nk. "land sparing" (maan säästäminen) – "land sharing" (maan jakaminen) -kysymys (mm. Phalan ym 2011). Tällä tarkoitetaan sitä, että pienillä tiloilla matalammalla intensiteetillä viljely voi tukea maisemallisen monimuotoisuuden kautta lajirikkuutta, mutta toisaalta vaatii enemmän pinta-alaa. Sen sijaan suurten tilojen korkean intensiteetin tuotanto voi säästää viljelyalaa. Ratkaisevaa on, mitä "vapautuvalla" pinta-alalla tehdään. Nurmituotannon viljelykäytäntöjen kehittämisen kannalta olisi olennaista ymmärtää viljelyn intensiteetin vaikutus tuotannon kokonaisvaikutuksiin. Tällä on iso merkitys myös ympäristövaikutusten mallinnuksen näkökulmasta. Digitalisaation ja teknologioiden kehittyminen (ks. luku 5.5) voi mahdollistaa tulevaisuudessa isoillekin tiloille päätöksenteon apuvälineitä, jotka saattavat mahdollistaa monipuolisia viljelyratkaisuja.

5.1.5. Peltojen vesitalous kuntoon

Peltojen toimiva vesitalous on välttämättömyys kestäväälle nurmituotannolle. Suomessa peruskuivatusverkosto rakennettiin pääosin sotien jälkeen, ja sen jälkeen siihen on johdettu sekä rakennettujen alueiden että metsäojitusten vesiä. Samalla äärisääntöjen lisääntyminen kuormittaa kuivatusta entisestään (Utriainen ym. 2025). Tämä näkyy pelloilla tulvina, ojien toimimattomuutena, satotappioina ja ravinnehuuhtoumina. Tehokkaat, mutta samalla raskaat nurmiviljelykoneet vaativat hyvin kantavat pellot, mutta pellon kantavuus heikkenee, jos kuivatus ei ole kunnossa. Toimivat nurmiurakointipalvelut edellyttävät riittävää kuivatusta, millä on merkitystä myös nautakarjatalouskeskittymien ulkopuolella toimiville biojalostamoille ja biokaasulaitoksille.

Ilmastonmuutoksen myötä kasvuolot ovat muutoksessa. Suomessa sadanta saattaa kasvaa, mutta samalla sateet tulevat yhä useammin voimakkaina kuormittaen kuivatusta, kun taas

säännölliset, matalan intensiteetin sateet vähenevät ja sateiden välinen aika pitenee (Utriainen ym. 2025). Sateiden välillä kasvit kärsivät yhä useammin kuivuudesta. Myös nurmien useat niitot kasvattavat veden tarvetta, sillä kasvin tuorepainosta vettä on 70–90 %. Kastelun järjestäminen lisää viljelyn kustannuksia, joten kastelun hyöty- ja kustannusvaikutuksista sekä kuivusriskien ennakoinnista tarvitaan täsmällisempää tietoa. Veden riittävyys sadonmuodostukselle voi olla kriittistä myös uusille nurmibiojalostamoille ja biokaasulaitoksille, mikäli raaka-ainepohja perustuu reservirehuun.

Metsissä kuivavaraksi riittää 30–40 cm, mutta peltoalueilla tarvitaan noin 80 cm kuivavara. Metsissä vesien viipymää voitaisiin kasvattaa, mikä tasaisi kasvukauden ulkopuolisia tulvia ja tukisi veden saatavuutta keskikesän kasvupiikin aikana. Oleellista on yhdistää metsä- ja maatalousalueiden vesienhallinnan tavoitteet, ojitustoiminta ja rahoitus sekä arvioida vesienhallinnan kytkentää EU:n maaperädirektiivikonaisuuteen. Lisäksi tarvitaan laajaa vesienhallinnan mallinnuksen kehittämistä yhteistyössä keskeisten toimijoiden kanssa. Luonnonvarakeskuksen tausta-aineistot ja jatkuvatoimiset mittaukset tarjoavat tärkeän datapohjan mallinnukselle, jonka avulla voidaan tunnistaa vesivirtoja tasaavat alueet ja kohdentaa vesienhallinnan kehittämistoimet ja rahoitus tehokkaasti.

Turvemailla tehokas kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen edellyttää vedenpinnan nostoa (vähintään 30 cm), mikä heikentää pellon kantavuutta ja vaikeuttaa viljelytoimia. Kantavuuden säilyttämiseksi maahan kohdistuvan paineen on oltava enintään 100 g cm^{-2} , ja samalla luisto sekä vetovoima on minimoitava (Schröder ym. 2015). Nykyinen työteho riittää kuitenkin vain pienialaisten alueiden hoitoon, kun taas suurempien alueiden käsittely edellyttää tehokkaampia koneita. Kehitystyötä on tehty (mm. De Vries Cornjum, joka valmistaa erikoiskoneita märkiin olosuhteisiin), mutta Suomessa kysyntä ei toistaiseksi ole ollut riittävää maahantuonnin käynnistämiseksi. Märillä turvepelloilla liikkumiseen on kuitenkin syntyneessä konetarjontaa, kun niiden viljelyä pyritään jatkamaan. Korotetun pohjaveden viljelyä kehitetään yhdessä sidosryhmien kanssa Living Lab- ja Light house-toimintamallia hyödyntäen.

5.1.6. Satotasoja on varaa nostaa

Nurmien satokuilu on Suomessa merkittävä. Pelloilta olisi mahdollista korjata huomattavasti suurempia satoja kuin tällä hetkellä korjataan (Termonen ym. 2020). Pääasiassa tämä johtuu alhaisesta eläintiheydestä ja hehtaariperusteisesta peltotuesta, joka ei ohjaa tehokkaaseen pellon käyttöön, osin heikosta peltojen peruskunnosta. Nurmisatojen kasvattaminen johtaisi peltopinta-alan vapautumiseen muuhun käyttöön. Tälle vapautuvalle pinta-alalle voi kuitenkin olla vaikeaa löytää vaihtoehtoja viljelykäyttöä, sillä kasvilajivalikoima on rajallinen Suomen ilmasto-olojen vuoksi (Leino ym. 2023) ja kasvintuotannon taloudellinen kilpailukyky on heikompi verrattuna nautakarjatuotantoon Suomen keskeisillä nautakarja-alueilla. Ostoväkirehu (vilja ja rypsi) on siis pääasiassa omaa tuotantoa halvempaa. Viljan hinta suhteessa nurmen tuotantokustannukseen vaikuttaa myös merkittävästi tuotantoeläinten rehuannoksen koostumukseen ja siten myös nurmituotantoon.

5.1.7. Karjanlanta ja orgaaniset mädätteet ovat kiinteä osa nurmituotantoa

Biokaasulaitosten yleistymiselle on nykyisellään selvä, tuottajaosuuskunnista lähtevä ja biopolttoaineiden kasvavaan kysyntään pohjaava vetovoima. Mikäli markkinoiden vetovoima säilyy, myös biojalostamoiden sivuvirrat (esim. kuitupitoinen kiintojäte) kannattaa hyödyntää biojalostamossa. Toinen varteenotettava vaihtoehto karjatalousalueella on hyödyntää

biojalostamoiden kiintojäte märehitjätuotannossa rehuna, josta sen ravinteet päätyvät lannan mukana ravinnekiertoon. Vielä nykyisin Suomen yleisin orgaanin lannoite on kotieläintilojen käsittämätön lietelanta (Vainio ym. 2022), mutta kehittyvän biokaasutekniikan myötä raakalieteen valtakausi saattaa vuoteen 2050 mennessä olla ohi. Haasteita silti riittää. Lietteessä ja mädätteissä suurin osa on vettä, joten lannan ja mädätteiden käsittelyyn jakeistettuna, saostettuna tai pelletöitynä joudutaan kiinnittämään entistä enemmän huomiota myös tutkimuksessa. Näin sekä kotieläin- että biojalostamakeskittymien läheisyyteen syntyvien biokaasulaitosten mädätteet voitaisiin hyödyntää tehokkaasti, peltojen ravinnepitoisuuksia tasapainottaa ja ympäristökuormitusta pienentää. Erityisesti tämä koskee fosforia, mutta myös muita ravinteita. Uusien lantatuotteiden kuten biokaasulaitoksien ja siellä tuotettavien kierrätyslannoitevalmisteiden kehittäminen tulisivat integroida osaksi laajenevien kotieläinyksiköiden ja biojalostamoiden toimintaa. Näissä lannan siirtoa varastoinnista jalostukseen tai levitykseen on tehostettava logistiikkasuunnittelulla ja mahdollisesti myös automatisoinnin avulla (esimerkiksi siirtolinjat, välivarastot).

Ammoniakki- ja dityppioksidipäästöjen vähentämiseen kohdistuu jatkuvaa painetta, ja uusien päästöjä vähentävien tuotteiden käyttöönotto edellyttää koetuloksia paikallisissa oloissa ja keskeisillä viljelykasveilla. Koska erilaisia lannoitetuotteita voi laitospäärän kasvaessa tulla markkinoille runsaasti, pitää myös niiden vaikutusten tutkimusta tehostaa. Tehokkain tapa tutkia uusien lantatuotteiden sato- ja ympäristövaikutuksia alkuvaiheessa on kontrolloidut kammio-olosuhteet. Lisäksi kenttäkokeet ovat välttämättömiä nurmikierron kokonaisvaikutusten arvioimiseksi. Yksi nurmikierto antaa jo hyvän kuvan esimerkiksi typen vaikutuksista, mutta uusien kierrätyslannoitetuotteiden todellisen ravinnehyödyn ja ympäristöriskien arviointi edellyttää lisäksi pitkäaikaiskokeita. Tämä koskee erityisesti fosforia, mutta myös kaliumia, hiilen kiertoa ja ilmastomuutoksen vaikutuksia.

5.1.8. Nurmi hyödyntää myös vaikealiukoisia ravinnevarastoja

Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että nurmet pystyvät hyödyntämään hienojakoisten kivennäismaiden hidasliukoisia kaliumreservejä (mm. Virkajärvi ym. 2014). Kaliumreservejä ei kuitenkaan hyödynnetä täysimääräisesti, sillä nurmen kaliumlannoitussuosituksen perustuvat maan helppoliukoisen kaliumin pitoisuuksiin, ja lannoitussuunnittelun ohjelmat määrittävät lannoitustason tämän perusteella.

Sen sijaan karkeilla ja eloperäisillä mailla reservikalium voi olla heikosti kasvien käytettävissä tai sitä on hyvin vähän, jolloin kaliumlannoituksella voitaisiin merkittävästi lisätä satotasoa. Erityisesti kaliumköyhillä turvemaidella kaliumlannoitusta voitaisiin todennäköisesti lisätä ja satoa kasvattaa jopa ilman typpilannoituksen lisäystä. Parantuneet sadot vähentävät myös turvemaiden ympäristökuormitusta, sillä orgaanisilla mailla biomassan korjuu voi vähentää typen ja fosforin huuhtoutumista jopa 92 % (Jabłońska ym. 2021). Toisaalta satovaikutus vaihtelee maaperän heterogeenisyyden vuoksi: Joillakin alueilla ravinteita vapautuu runsaasti, kun taas toisaalla esiintyy esimerkiksi kaliumin puutetta. Tämä edellyttäisi kaliumpuutteen tunnistusta esimerkiksi kasvustosta ja kaliumin täsmälannoituksen yhdistämistä kaukokartoitusmenetelmien käyttöön. Maan kaliumtilaa tulisi siis tasapainottaa. Nurmibiojalostamon puristuksessa syntyvä nestejäte sisältää runsaasti kaliumia, joka voitaisiin ottaa talteen lannoitteeksi ja kierrättää takaisin nurmiviljelyyn. Biologisesti kivennäismaan reserveistä louhittu kalium voitaisiin näin kierrättää alueille, joissa kaliumin puute rajoittaa satoa. Tulevaisuudessa kaliumin tehokas kierrättäminen tarvitsee päivitetyn kaliumlannoituksen satofunktion, joka huomioi kivennäismaiden reservikaliumin ja orgaanisten maiden kaliumlannoituksen mahdollisen muutostarpeen.

Näin voidaan vähentää lannoituskustannuksia kivennäismailla sekä tehostaa typen hyödyntämistä turvemaidilla, parantaa satotasoa ja siten pienentää tuotekohtaisia kasvihuonekaasupäästöjä.

Euroopan ainoa fosforikaivos sijaitsee Suomessa, joten Suomessa fosforin loppumista ei koeta vakavana uhkana. Nurmien fosforilannoituksella saadut satovasteet ovat kuitenkin 2000-luvulla heikentyneet ja tiedetäänkin, että nurmet hyödyntävät tehokkaasti lannoitushistoriasta maahan pidättynyttä perintöfosforia (Louhisuo ym. 2024). Tätä ominaisuutta voitaisiin hyödyntää erityisesti Saaristomeren valuma-alueella korkeiden fosforiluokkien maaperältä tapahtuvien ravinnevalumiinien vähentämiseen, sillä useamman sadonkorjuukerran myötä sadon mukana poistuu (20–30 kg P/ha) enemmän fosforia kuin mitä viljanviljelyssä (10–15 kg P/ha). Nurmibiojalostamossa hyödynnettävä nurmi voisikin olla osa vesistökuormituksen pienentämisen ratkaisua erityisesti yksimahaisten kotieläinten tuotannon yhteydessä, erityisesti silloin kun jalostamon tuottamaa proteiinia voitaisiin hyödyntää rehuna. Perintöfosforivarojen määräksi on arvioitu noin 1 000 kg/ha, mutta sen hyödynnettävyyden vaikuttavista tekijöistä (kasvilaji, maan kosteus, pH jne.) tiedetään vielä vähän. Perintöfosforivarojen tehokas hyödyntäminen edellyttää analytiikan kehittämistä (maa, kasvi), mutta myös kestävyysanalyysiä, jossa määritetään, kuinka kauan perintöfosforia voidaan nurmilla hyödyntää satotasojen vaarantumatta. Ravinteiden hyväksikäyttöä tukevista muista toimista kerrotaan lisää kappaleissa ”Peltojen vesitalous kuntoon” ja ”Teknologiakehitys, digitalisaatio, automaatio”.

5.1.9. Nurmikierto pidemmäksi

Muokkauksen vähentäminen on tehokas keino säilyttää nurmivuosien hiili maaperässä. Siksi nurmen iän pidentämiseen tähtäävät toimet ovat keskeinen osa nurmiviljelyn hyötyjä. Vaikka täydennyskylvö onnistuu apiloilla heiniä paremmin, se ei ole osoittautunut tehokkaaksi keinoksi nurmen aukkoisuuden vähentämiseen tai tasaisen lajikoostumuksen varmistamiseen. Apilapitoiset nurmet aukottuvat jo kolmantena satovuonna, kun taas heinäseokset säilyttävät satotasonsa neljänteen vuoteen. Apilanurmen aukkoisuus on ongelmallista, sillä rikkakasvien torjuntamahdollisuudet ovat rajalliset. Siksi apiloiden taudinkestävyyden parantamista esimerkiksi jalostuksen avulla tulisi tutkia nurmien kestävyden lisäämiseksi. Nurmien iän pidentämistä voitaisiin myös hyödyntää hiilikaupassa tai tukipolitiikkaa kehitettäessä, sillä hiilipäästöjen vähentämistä muokkausta vähentämällä on kenttätutkimuksissa helpompi mitata ja mittausten pohjalta mallintaa kuin mitä maaperävaikutukset ovat. Hiilipäästöjen vähentämisestä saatavat tulot voivatkin tulevaisuudessa olla tärkeä osa myös biojalostamoihin tuotettavan nurmen tuottajahintaa, mikäli ne pystytään tutkimuksissa luotettavasti todentamaan.

5.1.10. Tietoperusteinen nurmitalous – mittauksesta päätöksentekoon

Nurmitalous on siirtymässä kohti tuotantomallia, jossa viljelyä ohjataan yhä enemmän mittausdatan, mallinnuksen ja tiedonhallinnan avulla. Satelliitti- ja droonikuvat, maaperä- ja mikroilmastosensorit sekä koneista kerättävä data muodostavat ajantasaisen tilannekuvan kasvuston kehityksestä, maaperän olosuhteista ja tuotantotoimien vaikutuksista. Kun tämä tieto yhdistetään dynaamisiin malleihin, voidaan satopotentiaalia, rehun laatua ja ympäristövaikutuksia ennakoita sekä optimoida toimenpiteiden ajoitusta ja panosten käyttöä. Teknologia ei korvaa viljelijän kokemusta, vaan laajentaa päätöksenteon tietopohjaa ja parantaa ennakoinnin luotettavuutta.

Automaatio ja paikkatietoon perustuvat ohjausjärjestelmät kytkevät tiedon suoraan käytännön viljelytoimiin, mikä lisää toimenpiteiden tarkkuutta, toistettavuutta ja resurssitehokkuutta. Digitaalinen nurmituotanto tukee myös kestävyyttä mahdollistamalla energian- ja ravinteiden käytön optimoinnin, ympäristövaikutusten seurannan sekä lannoituksen ja korjuun sopeuttamisen vallitseviin sää- ja kosteusolosuhteisiin. Paikkatiedon, sensoriteknologian ja automaation yhdistäminen avaa uusia mahdollisuuksia myös laidunnuksen kehittämiseen esimerkiksi virtuaalialtojen avulla, mikä voi parantaa sekä tuotannon hyväksyttävyyttä että nurmien hiilensidontapotentiaalia. Kokonaisuutena tietoperusteinen nurmitalous edellyttää teknologian ohella osaamisen kehittämistä ja kykyä hyödyntää dataa osana arjen päätöksentekoa.

5.2. Nurmesta säilörehuksi

Lyhyen kasvukauden takia nurmen säilöminen ympärivuotista käyttöä varten on välttämättöntä, olkoon kyse sitten eläinten rehusta tai biokaasulaitosten ja nurmibiojalostamoiden raaka-aineesta. Perinteisesti nurmi kuivattiin heinäksi, ja kuivaa heinää käytetään edelleen erityisesti hevosten rehuna. Kuivattu nurmi valittiin myös tämän raportin biojalostamotarkasteluun. Tuoreen tai esikuivatun nurmen säilöminen hapattamalla säilörehuksi on kuitenkin syrjäyttänyt kuivan heinän käytön nautakarjataloudessa pienemmän sääriskin ja tehokkaiden korjuukoneketjujen takia. Pohjan säilörehun suosiolle loi A.I. Virtasen pioneerityö säilörehun säilöntämekanismin systemaattisessa hyödyntämisessä happolisäyksen avulla, joka johti vuonna 1945 myönnettyyn Nobelin palkintoon (Nobel Prize 2025).

Säilörehuteknologia on kehittynyt nopeasti tilakoon kasvun ja yleisen teknologisen kehittymisen myötä (Wilkinson & Rinne 2018). Säilörehun säilyminen perustuu happamuuteen, joka saavutetaan hapettomissa ja hygieenisissä oloissa siilossa, kun maitohappobakteerit tuottavat rehumassan happamuutta laskevaa maitohappoa. Käymiseen perustuva säilöntä edellyttää onnistuakseen sopivaa mikrobistoa, riittävää substraatin määrää maitohapon raaka-aineeksi ja hapettomia olosuhteita (McDonald ym. 1991, Selge 2025). Luontaisen käymisen tukena suositellaan käytettäväksi säilöntäaineita, jotka yleisimmin ovat muurahaishappopohjaisia kemiallisia säilöntäaineita tai maitohappobakteeriymppejä.

Onnistuneen säilönnän aikana biomassan laatu- ja määrätappiot ovat mahdollisimman pienet. Tavoitteena voivat olla myös positiiviset muutokset eli säilönnän aikana rehuun voi muodostua hyödyllisiä bioaktiivisia yhdisteitä tai haitalliset yhdisteet voivat hajota. Säilöntävaihe voi toimia myös biojalostamoprosessin esikäsitteilynä parantaen haluttujen fraktioiden saantoa (Rinne ym. 2020) tai fermentoimalla biomassaan tiettyjä tuotteita, esimerkiksi haihtuvia rasvahappoja (Rinne 2024). Toisaalta säilörehun fermentaatio myös hajottaa valkuaisaineita eikä esimerkiksi puhdasproteiinin saostus nestefraktiosta onnistu samoin kuin tuoreesta ruohosta. Kehittyvät DNA-pohjaisten tutkimusmenetelmien myötä mahdollisuudet analysoida rehun mikrobiomia tuovat uusia mahdollisuuksia ymmärtää mikrobien roolia säilöntäprosessissa (Franco ym. 2022).

Visio tulevaisuuden nurmisäilörehusta on stabiili funktionaalinen tuote, jonka säilöntätappiot on minimoitu. Säilörehun valmistusketju on hallittu ja rehun laatu räätälöidään tarkoituksensa, joka voi olla eri eläinlajeille tai ryhmille sovitettu tai erityyppisiin biojalostamoprosesseihin tähtäävä. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää määrätietoisen tutkimuksen jatkamista nurmiraaka-aineen ominaisuuksien sekä säilönnän mikrobiologisten ja biokemiallisten prosessien hallitsemiseen käytännön säilörehunvalmistusolosuhteissa.

6. Yhteenveto

Fossiilitaloudesta irtautuminen edellyttää tuotanto- ja kulutusjärjestelmien perusteellista uudistamista kuten maapallon resurssien käytön tehostamista, luonnon prosessien aiempaa systemaattisempaa hyödyntämistä ja luonnon kiertojen, uusiutuvuuden ja paikallisten ekosysteemipalvelujen varaan rakentuvaa taloutta. Tässä murroksessa uudet biomassat sekä hiilen ja proteiinien kestävä lähteet nousevat keskeiseen rooliin ja niiden arvo kasvaa tuotantoteknologioiden ja jalostusmenetelmien kehittyessä. Näillä muutoksilla on merkittävä vaikutus myös nurmentuotannon kannattavuuteen Suomessa.

Tässä raportissa on tunnistettu kolme keskeistä nurmituotannon tulevaisuuden arvoketjua: biojalostamot, bioenergiantuotanto ja märehijätalous. Lisäksi nurmilla nähdään tulevaisuudessa olevan yhä keskeisempi rooli myös kasvintuotantotilojen viljelykierroissa mm. alus- ja kerääjäkasvina tai siementuotantonurmina.

Erilaiset nurmituotannon muodot, kuten biojalostukseen tuotettava nurmi, voivat tulevaisuudessa tehdä nurmen viljelyn entistä kannattavammaksi, sillä ne mahdollistavat nurmibiomassan jalostamisen korkeammalla lisäarvolla esimerkiksi proteiinijakeiksi, biokaasuksi ja erilaisiksi biopohjaisiksi tuotteiksi. Tämä vahvistaa paikallista omavaraisuutta, vähentää riippuvuutta ulkomaisista rehu- ja energiapanoksista sekä tukee kiertotaloutta.

Nurmituotannon merkittävät muutokset vaativat toteutuakseen pitkäjänteistä tutkimusta ja kehitystyötä. Nurmipohjaisen arvonmuodostuksen keskeiset haasteet liittyvät satotason ja laadun vaihteluun, biojalostukseen soveltuvan raaka-aineen ja prosessiteknologioiden puutteeseen sekä biomassan prosessoinnin, logistiikan ja energiankäytön kustannuksiin. Taulukossa 13 tunnistetut tulevaisuuden ratkaisut osoittavat, että nurmen arvonlisän merkittävä kasvattaminen edellyttää systeemistä murrosta, jossa viljelytekniikka, kasvinjalostus, biojalostus ja energiantuotanto integroidaan toisiinsa. Kokonaisuutena nurmella on edellytykset kehittyä strategiseksi raaka-aineeksi myös eläintuotannon ulkopuolella, mutta tämä vaatii monenlaisia teknologisia ratkaisuja ja etenkin investointeja teollisen mittakaavan tuotantolaitoksiin. Kannattavien uusien arvoketjujen rakentuminen edellyttää riittävän kustannustehokasta tuotantoa, mutta etenkin kysyntää ja markkinaimua uusille tuotteille.

Taulukko 13. Tulevaisuuden nurmibiotalouteen liittyviä haasteita ja ratkaisuja tuotantoketjun eri vaiheissa.

	Haasteet	Ratkaisut
Viljelytekniikka	<ul style="list-style-type: none"> - Satotason ja laadun vaihtelut - Sääolosuhteisiin sopeutuminen - Rikkakasvien hallinta 	<ul style="list-style-type: none"> - Täsmäviljely ja korjuuajankohtien optimointi - Kaukokartoitus satotason ja sadon koostumuksen ennakoinnissa - Koneiden energiatehokkuus - Viljelykierrot ja maaperän kunnon vahvistaminen
Kasvilajisto ja lajikkeet	<ul style="list-style-type: none"> - Rehujalostuksen lisäksi tarvitaan lajikkeita biojalostamon tarpeisiin - Typensitojakasvien lisääminen - Kuivuus- ja talvenkestävyys 	<ul style="list-style-type: none"> - Lajikejalostus kohdennetusti eri käyttötarkoituksiin - Monilajiset nurmiseokset - Peltöjen peruskunnon parantaminen ja vesien hallinta
Nurmiraaka-aineen prosessointi jatkojalostukseen	<ul style="list-style-type: none"> - Kuivatuskustannukset/säilöntä - Hygienia ja säilyvyys (erityisesti nestejake) - Tasalaatuisuuden hallinta 	<ul style="list-style-type: none"> - Kehittyneet säilöntäteknologiat - Kuiva-aineepitoisuuden hallinta eri tuotantoprosesseihin
Biojalostus	<ul style="list-style-type: none"> - Nurmibiotalostuskonsepti puuttuu; nurmi ei sovi sulfaattimenetelmään silikaattien takia. - Nestejakeen erotus on demo- ja pilottimittakaavassa Tanskassa → Uusien kuitu- ja proteiiniprosessien teollisen mittakaavan teknologinen kehitys. - Sokeri- ja mineraaliliuosten käyttöarvo määrittelemättä. - Nurmen irtotiheys on matala → kuljetuskustannukset korkeat - Teolliseen mittakaavaan siirtyminen 	<ul style="list-style-type: none"> - Nurmelle sopiva kuidutusprosessi: Kuumavesiuutto (PHWE) proteiinien ja hiilihydraattien talteenottamiseksi, sekä kuidutusprosessi, joka soveltuu nurmiraaka-aineelle ja tuottaa laadukkaita kuituja esim. kuituvalospakkauksiin. - Proteiinien talteenotto ja jalostus: Kiintojakeen ja nestejakeen erotus (LPC) (rehu/elintarvike), PHWE-uutteen aminohapot/peptidit (kromatografiat) - Hiilihydraatti- ja mineraaliuutteiden hyödyntäminen: mikrobifermentointi (mikrobiproteiinit, orgaaniset hapot), ravinnekiertoon soveltuvat NPK valmisteet. - Integraatio biokaasulaitoksen kanssa: kiintojakeen biokaasutus → energia ja CO₂, lämpökuormat hyödynnetään kuivauksessa ja uutoissa. - Silikaatin hallinta: esihuuhtelu, saostus, vesikierron hallinta. - Markkinaohjautuvuus: kuitutuotteita tarvitaan, jos puukuidun saatavuus heikkenee, sivuvirrat -> korkean katteen tuotteisiin (aminohapot, fermentointisyötteen). Kaskadiprosessit
Logistiikka	<ul style="list-style-type: none"> - Alhainen tiheys → korkeat kuljetuskustannukset - Neste- ja kiintojakeen erillinen logistiikka - Korjuukauden ruuhkat 	<ul style="list-style-type: none"> - Reittien optimointi - Paluulogistiikan hyödyntäminen mädätteelle - Päästöttömät kuljetuskalustot
Energiantuotanto	<ul style="list-style-type: none"> - Suuren mittakaavan kuivamädätyksen teknologinen valmiusaste - Jalostuksen ja nesteytyksen korkea energian tarve 	<ul style="list-style-type: none"> - Reaktoriteknologioiden kehitys - Metaanihäviviöiden minimointi - Energiaintegraatio (tuuli/aurinko + kiintojakeen biokaasutus) - CO₂:n talteenoton liiketoimintamallit - Nurmi kannattavaksi ilman eläintuotantoa (energia, biojalostus, hiilivarastojen kasvatus)

	Haasteet	Ratkaisut
Märehtijätuotanto	<ul style="list-style-type: none"> - Eläintuotannon hyväksyttävyyys - Heikko kannattavuus - Ruokaymmärrys - Ihmisravinnoksi kelpaavien viljelykasvien rehukäyttö 	<ul style="list-style-type: none"> - Hinnoittelemalla tuotteisiin kestävyystoimenpiteiden arvo - Tuotantokustannusten minimointi tilakokoa kasvattamalla ja tuotantoa tehostamalla - Faktapohjaisen tiedon parempi saatavuus - Ihmisravinnoksi kelpaamattomien rehujen osuuden kasvattaminen märehtijöiden ruokinnassa (erityisesti nurmi)
Ympäristö ja kestävyys	<ul style="list-style-type: none"> - Orgaanisten lannoitteiden sisältämien hidasliukoisten ravinteiden hyödyntäminen (erityisesti N) - Nurmiviljely kasvihuonekaasupäästöt - Tukijärjestelmien epäselvä soveltaminen biojalostukseen 	<ul style="list-style-type: none"> - Alueellinen ravinnekierron optimointi - Mädätteen jatkojalostus (N, P, K) - Standardoidut ilmasto ja vaikutusarviot - Päästöjä vähentävät viljelytekniikat (mm. nurmikierron pidentäminen, biologisen typensidonnan hyödyntäminen)

Nykyinen lajikejalostus on painottunut rehuarvoon, eikä biojalostuksen tarpeisiin ole vielä räätälöity lajikkeita. Kuidun pituus eli kasvien soluseinäarakenteiden ominaisuudet ja proteiinipitoisuuden kasvattaminen parantaisivat ominaisuuksia biojalostuksen kannalta. Lisäksi kuivuus- ja talvenkesto ovat satovarmuuden kannalta tärkeitä jalostustavoitteita. Tulevaisuuden ratkaisuja ovat käyttötarkoituksiin kohdennettu lajikejalostus, typensitojakasvien viljelyn lisääminen sekä viljelytekniikan kehittäminen. Pellon peruskuntoa ja vesien hallintaa parantamalla ja monilajisia nurmiseoksia hyödyntämällä voidaan vakauttaa tuotantoa muuttuvissa olosuhteissa. Monilajisten seosten potentiaalin hyödyntämiseksi niiden viljelyyn on löydettävä viljelijää helpottavia ratkaisuja ja ymmärrettävä niiden kokonaisvaikutukset erilaisissa nurmeen pohjautuvissa tuotantomuodoissa. Tulevaisuudessa tuotantoa voidaan ennakoida ja ohjata täsmäviljelyn avulla optimoimalla esimerkiksi korjuun ajoitus hyödyntämällä kaukokartoitusta sadon määrän ja koostumuksen ennakointiin.

Nurmibiomassan prosessointiin korjuun jälkeen tarvitaan uudenlaisia teknologisia ratkaisuja ja kustannustehokkuutta. Hygienian ja säilyvyyden varmistaminen vaatii uusia säilöntäteknologioita erityisesti nestejakeelle ja myös kuiva-ainepitoisuuden hallinta vaatii kehitystä tuotantoprosessien erilaisiin tarpeisiin. Tässä työssä teknoekonomiset laskelmat tehtiin kuivatulle nurmibiomassalle, joka säilyttää fermentoitua nurmea (säilörehua) paremmin proteiinit ja kuiturakenteen. Kuivatus on kustannuksiltaan kuitenkin kallis vaihe ja sen optimointi on keskeinen kannattavuustekijä biojalostusprosessien kannalta.

Suomessa ei ole vielä nurmelle sopivia teollisia jalostuskonsepteja. Nykyinen vallitseva puunjalostusteollisuuden kemiallinen kuidutusmenetelmä sulfaattiprosessi ei voi hyödyntää nurmea mm. sen korkean silikaattipitoisuuden vuoksi. Tanskassa on kehitetty pilottimittakaavan demonstraatioita nurmen kiinto- ja nestejakeen biojalostukseen ja seuraava askel on edetä teolliseen tuotantoon. Nurmea hyödyntävää liiketoimintaa on jo syntynyt eri puolille Eurooppaa ja sen ennustetaan kasvavan lähitulevaisuudessa. Arviomme mukaan nurmibiojalostamon kannattavuus perustuu ennen kaikkea siihen, että nurmelle kehitetään kustannustehokas kuidutusprosessi ja pystytään erottamaan proteiinit, aminohapot ja muut arvokkaat yhdisteet taloudellisesti teollisessa mittakaavassa. Kannattavuutta voi vahvistaa nestejakeiden hyödyntäminen esimerkiksi fermentoinnin syötteinä tai lannoitteina, mikä parantaa sekä prosessin tulovirtoja että ravinnekiertoa.

Lähitulevaisuudessa ratkaistavia pullonkauloja ovat nurmibiomassan kuitujen ja proteiinien teollisen mittakaavan erotusprosessien kehittäminen ja biojalostuslaitosinvestoinnit ja niiden rakentaminen. Eri jakeille tarvitaan myös kehittyneet markkinat ja nurmesta eristettäville sokeri- ja mineraaliliukoille myös selkeä käyttöarvo esimerkiksi solumaataloudessa.

Tulevaisuuden teknologioita ovat kustannustehokkaasti toteutettu kuumavesiuuttoprosessi, sekä nurmiraaka-aineelle optimoitu kuidutusprosessi. Teollisen mittakaavan kehitystä vaatii vielä myös proteiinien ja muiden arvokkaiden yhdisteiden talteenoton uudet tekniikat sekä hiilihydraatti- ja mineraalivirtojen hyödyntäminen esimerkiksi mikrobifermentoinnissa ja ravinnekiertoon soveltuvissa NPK-valmisteissa.

Tulevaisuudessa kuitumarkkinoiden kasvu ja mahdolliset puukuidun saatavuushaasteet voivat nostaa nurmikuittujen arvoa olennaisesti. Lisäksi raaka-aineen koostumuksen ja esikäsittelyn optimointi, kuten kuivaustavan valinta, vaikuttaa ratkaisevasti prosessin tehokkuuteen. Integrointi biokaasutuotantoon tarjoaa keinon hyödyntää sivuvirrat energiaksi ja parantaa kokonaisprosessin kannattavuutta. Kokonaisuutta tukevat myös poliittiset ohjaukset ja hiili-markkinoiden kehittyminen, jotka voivat merkittävästi parantaa investointien taloudellisia edellytyksiä.

Yleisesti logistiikka asettaa haasteita biotalouden arvoketuille. Nurmibiomassan pieni tiheys nostaa kuljetuskustannuksia ja korjuukauden ruuhkat vaikeuttavat logistiikkaa. Kuljetusreittien optimointi, paluulogistiikan hyödyntäminen esim. mädätteelle, päästöttömän kaluston käyttöönotto ja erilaiset logistiikkasovellukset tuovat helpotusta kuljetuskustannuksiin.

Suuressa mittakaavassa nesteytetyn biometaanin tuotanto nurmesta tai biojalostamossa nurmesta puristetusta kiintojakeesta on tämän raportin laskelmien mukaan kannattavaa. Kannattavuus edellyttää kuitenkin, että nurmen kestävyyskriteerit täyttyvät ja siten tuotantolaitos pääsee tikettikaupan ja investointituen piiriin. Myös nurmen tuotantokustannus on olennainen osa kannattavuutta. Tuotantoa tehostamalla (satotaso nostamalla) voidaan pienentää energiayksikkökohtaista kustannusta (€/MWh). Tulevaisuudessa biokaasureaktoriteknologioiden kehittyminen ja energiantegraatio (esimerkiksi tuuli- ja aurinkovoiman yhdistäminen biokaasulaitoksiin) parantavat biokaasuntuotannon kannattavuutta. Tulevaisuuden hiilidioksidin talteenoton liiketoimintamallit ja nurmen hiiltä sitovat ominaisuudet tuovat kannattavuutta nurmentuotantoon eläintuotannon rinnalle.

Nurmen nykyinen keskeisin käyttötarkoitus on märehitijöiden rehu. Nurmirehun viljely tähtää tulevaisuudessa entistä kestävämpään viljelytapaan. Rehunurmentuotannossa on huomiotava tuotannon kokonaiskestävyys viljelytekniikkaa kehitettäessä. Käytännössä tämä tarkoittaa yksittäisen viljelytekniikan muutoksen vaikutuksen ymmärtämistä koko tuotantoketjusta, tuotosvaikutuksista ympäristövaikutuksiin. Eläintuotanto on kohdannut hyväksyttävyyso ongelmia eli erilaisia yhteiskunnallisia, eettisiä, ympäristöön ja terveyteen liittyviä huolia, jotka heikentävät kuluttajien ja päätöksentekijöiden myönteistä suhtautumista eläinperäiseen elintarviketuotantoon. Hyväksyttävyyso ngelmat eivät tarkoita yksittäisten tilojen virheitä vaan laajempaa keskustelua, jota käydään Suomessa ja maailmalla ja sillä on vaikutusta eläintuotannon tulevaisuuden toimintaedellytyksiin. Tuotteita voidaan hinnoitella siten, että kestävyystoimenpiteiden arvo näkyy hinnoissa. Tutkittuun tietoon perustuvan ymmärryksen lisääminen eri sidosryhmissä vähentäisi perusteettomia vaikutuksia eläintuotantoon ja auttaisi eläintuotannon aseman määrittämisessä. Nurmen osuuden kasvattaminen märehitijöiden ruokinnassa nähdään yhtenä toivottavana tulevaisuuden kehityssuuntana. Toteutuessaan tämä vapauttaisi peltopinta-alaa nurmiraaka-aineen viljelylle esimerkiksi biojalostamoille tai biokaasulaitoksille nykyisillä viljanviljelyalueilla.

Nurmentuotannolla voidaan vaikuttaa myönteisesti moniin ympäristö- ja kestävyys haasteisiin. Näiden nurmiviljelyn tarjoamien ekosysteemipalveluiden laajempi integrointi kasvi- ja eläintuotantoon edellyttää taloudellisia kannustimia tai taloudellisen hyödyn tunnistamista.

Viitteet

- Ahokas, J. 2013. Maatilojen energiankäyttö, Enpos-hankkeen tulokset. Department of Agricultural Sciences Publications 15. Helsinki. 142 s. <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/4332758b-626c-4a61-9be5-a0305b7f02c5/content>.
- Ambye-Jensen, M. 2018. Green biorefinery pilot and demo-scale facilities at Aarhus university. Green biorefining seminar 29. June 2019. https://icrofs.dk/fileadmin/user_upload/Pilot_and_demo-scale_facilities_at_Aarhus_University.pdf
- Ayanfe, N., Tapio, I., Ahvenjärvi, S., Rinne, M., Sairanen, A. & Bayat, A.R. 2025. Can high-oil concentrates offset the high enteric methane production caused by high-forage diets? *Journal of Dairy Science* 108: 8350–8366. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-26108>
- Beil, M. & Beyrich, W. 2013. Biogas upgrading to biomethane. Teoksessa: Wellinger, A., Murphy, J. & Baxter, D. (toim.) 2013. The biogas handbook. Science, production and applications. Woodhead Publishing Limited.
- Biotalous.fi. 2025. EU:n uusi biotalousstrategia on julkaistu. <https://www.biotalous.fi/eun-biotalousstrategia-on-julkaistu/>
- BIP 2023. Biomethane industrial partnership. Insights into the current cost of biomethane production from real industry data. https://bip-europe.eu/wp-content/uploads/2023/10/BIP_TF4-study_Full-slidedeck_Oct2023.pdf
- Cerrone, F., Choudhari, S.K., Davis, R., Cysneiros, D., O’Flaherty, V., Duane, G., ... & O’Connor, K. 2014. Medium chain length polyhydroxyalkanoate (mcl-PHA) production from volatile fatty acids derived from the anaerobic digestion of grass. *Applied Microbiology and Biotechnology* 98: 611–620.
- Chen, S., Wang, W., Xu, W., Wang, Yang, Wan, H., Chen, D., Tang, Z., Tang, X., Zhou, G., Xie, Z., Zhou, D., Shangguan, Z., Huang, J., He, J.-S., Wang, Yanfen, Sheng, J., Tang, L., Li, X., Dong, M., ...& Bai, Y. 2018. Plant diversity enhances productivity and soil carbon storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115(16): 4027–4032. <https://doi.org/10.1073/pnas.1700298114>
- Damborg, V.K., Jensen, S.K., Weisbjerg, M.R., Adamsen, A.P. & Stødkilde, L. 2020. Screw-Pressed Fractions from Green Forages as Animal Feed: Chemical Composition and Mass Balances. *Animal Feed Science and Technology* 261: 114401. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114401>.
- De Deyn, G.B., Quirk, H., Yi, Z., Oakley, S., Ostle, N.J. & Bardgett, R.D. 2009. Vegetation composition promotes carbon and nitrogen storage in model grassland communities of contrasting soil fertility. *Journal of Ecology* 97: 864–875.
- Dignac, M.F., Derrien, D., Barré, P., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., Chevallier, T., Freschet, G. T., Garnier, P., Guenet, B., Hedde, M., Klumpp, K., Lashermes, G., Maron, P.-A., Nunan, N., Roumet, C. & Basile-Doelsch, I. 2017. Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37: 14. <http://link.springer.com/10.1007/s11104-004-0907-y>

- Ecker, J., Schaffenberger, M., Koschuh, W., Mandl, M., Böchzelt, H.G., Schnitzer, H., Harasek, M. & Steinmüller, H. 2012. Green Biorefinery Upper Austria – Pilot Plant Operation. Separation and Purification Technology 96: 237–247. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.-2012.05.027>.
- Ekroos, J., Tiainen, J., Seimola, T. & Herzon, I. 2019. Weak effects of farming practices corresponding to agricultural greening measures on farmland bird diversity in boreal landscapes. Landscape Ecology 34: 389–402. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00779-x>
- Energiavirasto 2026. Uusiutuvien polttoaineiden kestävyys. <https://energiavirasto.fi/biomas-sojen-ja-biopolttoaineiden-kestavyys>
- Esposito, A., D’Alonzo, D., De Fenza, M., De Gregorio, E., Tamanini, A., Lippi, G., ... & Guaragna, A. 2020. Synthesis and therapeutic applications of iminosugars in cystic fibrosis. International Journal of Molecular Sciences 21(9): 3353.
- European Commission 2026. Biodiversity strategy for 2030. European Commission. https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030_en
- European Commission 2025. A strategic framework for a competitive and sustainable EU bio-economy (COM/2025/960 final). EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52025DC0960>
- Ferreira, D.J., Zanine, A.M., Santos, E.M., Lana, R.P., Silva, W.L., Souza, A.L. & Pereira, O.G. 2011. Fermentation and nutritive value of elephant grass silage inoculated with *Streptococcus bovis*. Archives of Animal Science 60: 110–124. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1029531>
- Fidelis, M., Tienaho, J., Brännström, H., Korpinen, R., Pihlava, J.-M., Hellström, J., Jylhä, P., Liimatainen, J., Möttönen, V., Maunuksela, J. & Kilpeläinen, P. 2023. Chemical Composition and Bioactivity of Hemp, Reed Canary Grass and Common Reed Grown on Boreal Marginal Lands. RSC Sustainability 1(9): 2202–2223. <https://doi.org/10.1039/D3SU00255A>.
- Fornara, D.A. & Tilman, D. 2008. Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation. Journal of Ecology 96: 314–322. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2007.01345.x>
- Franco, M., Hurme, T., Winquist, E. & Rinne, M. 2019. Grass silage for biorefinery – A meta-analysis of silage factors affecting liquid-solid separation. Grass and Forage Science 74: 218-230. DOI: 10.1111/gfs.12421.
- Franco, M., Tapio, I., Pirttiniemi, J., Stefański, T., Jalava, T., Huuskonen, A. & Rinne, M. 2022. Fermentation quality and bacterial ecology of grass silage modulated by additive treatments, extent of compaction and soil contamination. Fermentation 8(4): 156. <https://doi.org/10.3390/fermentation8040156>.
- Grammatikopoulou, I., Pouta, E., Salmiovirta, M. & Soini, K. 2012. Heterogeneous preferences for agricultural landscape improvements in southern Finland. Landscape and Urban Planning 107: 181–191.
- Grönlund, P. 2022. Työ- ja elinkeinoministeriön muistio 8.12.2022. Suomen Lantakaasu Oy:n Kiuruveden biokaasulaitos. <https://tem.fi/delegate/file/113480>

- Hautala, S. 2014. Pressurized hot water extraction of silage, Protein from Grass. Final seminar 12.03.2014, electronic report. <https://www.ibcfinland.fi/files/docs/120314/Metla%-20Sanna%20Hautala.pdf> (Viitattu 4.12.2025)
- Hautaluoma, J. 2026. Auris Energia Oy. Biokaasut: Virtuaaliset putket, fyysiset putket, neste-mäinen kaasu. PowerPoint-esitys 19.1.2026 Pyörillä vai putkella - biokaasulaitoksen lo-gistiikka -webinaarissa.
- Heikkinen, H.I., Kasanen, M. & Lépy, É. 2012. Resilience, vulnerability and adaptation in rein-deer herding communities in the Finnish-Swedish border area. *Nordia Geographical Publications* 41(5): 107–121.
- Hellton, K.H., Amdahl, H., Thorarinsdottir, T., Alsheikh, M., Aamlid, T., Jørgensen, M., Dal-mannsdottir, S. & Rognli, O.A. 2023. Yield predictions of timothy (*Phleum pratense* L.) in Norway under future climate scenarios. *Agricultural and Food Science* 32(2): 80–93. <https://doi.org/10.23986/afsci.127935>
- Herzon, I., Ekroos, J., Rintala, J., Tiainen, J., Seimola, T. & Vepsäläinen, V. 2011 Importance of set-aside for breeding birds of open farmland in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 143: 3–7. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.05.006>
- Hippolis 2024. Hevostalous lukuina 2024. <https://www.hippolis.fi/site/wp-content/uploads/-Hevostalous-lukuina-2024.pdf> (Viitattu 6.3.2026).
- Huhtanen, P. 2024. Thirty years of intensive research to reduce methane emissions – what has been achieved? Proc. Nordic Feed Science Conference, Uppsala, Sweden 18–19 June 2024. pp. 38–44. <https://doi.org/10.54612/a.4h6nuvh43i>.
- Hyvönen, T., Heliölä, J., Koikkalainen, K., Kuussaari, M., Lemola, R., Miettinen, A., Rankinen, K., Regina, K. & Turtola, E. 2020. Maatalouden ympäristötoimenpiteiden ympäristö- ja kustannustehokkuus (MYTTEHO) : Loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutki-mus 12/2020: 76 s. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-919-4>
- Hyvönen, T., Huusela, E., Kuussaari, M., Niemi, M., Uusitalo, R. & Nuutinen, V. 2021. Above-ground and belowground biodiversity responses to seed mixtures and mowing in a long-term set-aside experiment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 322: 107656. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107656
- Hyvönen, T., Heinonen, M., Heliölä, J., Jauni, M., Korhonen, K., Ovaska, U., Piha, M., Seimola, T. Velmala, S. 2025. Arviointi CAP-suunnitelman 2023–2027 merkityksestä luonnon moni-muotoisuudelle ja maisemalle. Vuosien 2023–2024 väliraportti. Maa- metsätalousmi-nisteriö. EU:n yhteinen maatalouspolitiikka Suomessa – Arviointeja ja selvityksiä 2025:9. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-706-8>
- Ilmatieteenlaitos 2026. Kuudes arviointiraportti. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuudes-arvi-ointiraportti> (Viitattu 6.3.2026).
- Innofeed 2018. Innofeed-projektin materiaalit. <https://www.ibcfinland.fi/projects>.
- IVL Swedish Environmental Research Institute 2020. Gotland to develop a green industrial symbiosis park. <https://www.ivl.se/english/ivl/press/press-releases/2020-04-22-got-land-to-develop-a-green-industrial-symbiosis-park.html>

- Jabłońska, E., Winkowska, M., Wiśniewska, M., Geurts, J., Zak, D. & Kotowski, W. 2021. Impact of vegetation harvesting on nutrient removal and plant biomass quality in wetland buffer zones. *Hydrobiologia* 848: 3273–3289. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04256-4>
- Jahan, M.S., Rahman, M.M. & Ni, Y. 2012. Alternative Initiatives for Non-Wood Chemical Pulping and Integration with the Biorefinery Concept: A Review. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 15(1): 100–118. <https://doi.org/10.1002/bbb.2143>.
- Jansik, C., Huuskonen, H., Karhapää, M., Keskitalo, M., Leppälä, J., Niemi, J., Niskanen, O., Perttilä, S. & Rinne, M. 2021. Maatalouden tuotantopanosten saatavuuden riskit : Kriiseihin varautuminen ruokahuollon turvaamisessa. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 76/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 98 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-300-8>.
- Jauhiainen, M. 2022. Grass silage as a feedstock for a biogas plant - a feasibility study and development of a cost calculation tool. *Savonia-ammattikorkeakoulu. Thesis – master's degree programme*. <https://www.theseus.fi/handle/10024/787869>
- Jyske, T., Rasa, K., Korkalo, P. & Kohl, J. 2023. Kaskadivisio: Alueellisesti mukautuva biokierto-talous – kaskadiprosessoinnilla biomassoista lisäarvoa, hyvinvointia ja resurssiviisautta. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 9/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 28 s. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-608-5>.
- Juntunen, E. 2025. Ilmastosovun erikoinen seuraus: Bensan hinnan-nousu hidastuu. *Helsingin Sanomat* 5.11.2025. <https://www.hs.fi/talous/art-2000011606494.html>
- Jørgensen, U., Jensen, S.K. & Ambye-Jensen, M. 2022. Coupling the benefits of grassland crops and green biorefining to produce protein, materials and services for the green transition. *Grass and Forage Science* 77: 295–306. <https://doi.org/10.1111/gfs.12594>
- Keto, L., Perttilä, S., Särkijärvi, S., Immonen, N., Kytölä, K., Alakomi, H.-L., Hyytiäinen-Pabst, T., Tsitko, I., Saarela, M. & Rinne, M. 2021. Effect of silage juice feeding on pig production performance, meat quality and gut microbiome. *Livestock Science* 254: 104728. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104728>.
- Kim, D. 2018. Physico-Chemical Conversion of Lignocellulose: Inhibitor Effects and Detoxification Strategies: A Mini Review. *Molecules* 23(2): 309. <https://doi.org/10.3390/molecules23020309>.
- Korhonen, I. 2025. Ruokinnan tunnusluvut vuodelta 2024. Maidontuotannon tulosseminaari. <https://www.proagria.fi/ajankohtaista/maidontuotannon-tulosseminaari-2025>.
- Kromus, S., Kamm, B., Kamm, M., Fowler, P. & Narodoslowsky, M. 2005. Green biorefineries: the green biorefinery concept–fundamentals and potential. *Biorefineries-Industrial Processes and Products: Status Quo and Future Directions*. s. 253–294.
- Kromus, S., Wachter, B., Koschuh, W., Mandl, M., Krotscheck, C. & Narodoslowsky, M. 2004. The green biorefinery Austria-development of an integrated system for green biomass utilization. *Chemical and biochemical engineering quarterly* 18(1): 8–12.
- Kuhmonen, T. & Tembo, B. 2025. Savon maatalouden tulevaisuuskuvat: Viljelijöiden näkemykset. *TUTU eJULKAISUJA* 5/2025. 109 s. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-249-630-0>

- Kumpula, J., Rämö, S., Siitari, J., Holkeri, L., Pekkarinen, A.-J. & Tauriainen, J. 2022. Talven 2021–2022 lumi- ja kaivuolosuhteet ja niiden vaikutukset poronhoitoon. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 71/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 58 s.
- Kässi, P. & Niskanen, O. 2024. Luonnonvarakeskus. Väkilannoitteiden ravinteiden hinnat syyskuussa 2024. Henkilökohtainen tiedonanto 26.9.2024.
- Lahtinen, M.H., Valoppi, F., Juntti, V., Heikkinen, S., Kilpeläinen, P.O., Maina, N.H. & Mikkonen, K.S. 2019. Lignin-Rich PHWE Hemicellulose Extracts Responsible for Extended Emulsion Stabilization. *Frontiers in Chemistry* 7. <https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00871>.
- Latvala, T. (toim.), Karhula, T., Kirveennummi, A., Mäkelä, J., Saarimaa, R., Salmivaara, L., Silfver, M., Haaksiala, H. & Niva, M. 2025. Ruokatulevaisuudet: Näkymiä ja tekoja ruokajärjestelmän murroksissa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 24/2025. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 78 s.
- Lehikoinen, A., Aalto, J., Boström, C., Ekroos, J., Herzon, I., Hyytiäinen, K., ...& Rytteri, S. 2024. Maatalousalueiden luonnon monimuotoisuuden edistämisen keinot ja hyödyt Suomessa. Suomen Luontopaneelin julkaisuja 2A/2024. <https://luontopaneeli.fi/wp-content/uploads/2024/06/suomen-luontopaneelin-julkaisuja-2a-2024-maatalousalueiden-luonnon-monimuotoisuus.pdf>
- Lehtilä, A., Taghizadeh-Toosi, A., Roitto, R., Kokkonen, T., Mäkelä, P.S.A., Sairanen, A. & Tuomisto, H.L. 2024 Cultivation and environmental impacts of forage maize in boreal conditions. *Animal Feed Science and Technology* 309. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.115878>
- Leino, M., Huuskonen, A., Jansik, C., Järvenranta, K., Mehtiö, T. & Viitala, S. (toim.) 2023. Synteesi suomalaisen nautakarjatalouden kestävydestä : Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 7/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-604-7>
- Louhisuo, A., Yli-Halla, M., Termonen, M., Kykkanen, S., Jarvenranta, K. & Virkajarvi, P. 2024. Long-term changes in soil phosphorus in response to fertilizer application and negative phosphorus balance under grass rotation in mineral soils in Nordic conditions. *Soil Use and Management* 40(1): e13013. <https://doi.org/10.1111/sum.13013>
- Luke 2026a. Luonnonvarakeskuksen tilastot. [Tilastot | Luonnonvarakeskus](#)
- Luke 2026b. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. www.luke.fi/rehutaulukot.
- Lötjönen, T. & Niemeläinen, O. 2014. Biokaasun raaka-aineen korjuukustannus HVP-lohkoilta. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote nro 30. http://www.smts.fi/MTP_julkaisu_2014/Posterit/261Lotjonen_Niemelainen_Biokaasun_raaka-aineen_korjuukustannus_HVP-lohkoilta.pdf
- McDonald, P., Henderson, A.R. & Heron, S.J.E. 1991. *The Biochemistry of Silage*. 2nd ed. Chalcombe Publications, Marlow, UK. 340 p.
- Mäkinen H., Kaseva, J., Virkajärvi, P. & Kahiluoto, H., 2015 Managing resilience of forage crops to climate change through response diversity. *Field Crops Research* 183: 23–30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.006>

- Møller, A.H., Hammershøj, M., Dos Passos, N.H.M., Tanambell, H., Stødkilde, L., Ambye-Jensen, M., ... & Dalsgaard, T.K. 2021. Biorefinery of green Biomass— How to extract and evaluate high quality leaf protein for food? *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 69(48): 14341–14357.
- Niemeläinen, O., Hannukkala, A., Jauhiainen, L., Hakala, K., Niskanen, M. & Laine, A. 2020. Increase in perennial forage yields driven by climate change, at Apukka Research Station, Rovaniemi, 1980–2017. *Agricultural and Food Science* 29(2): 139–153. <https://doi.org/10.23986/afsci.85141>
- Nieminen, M., Ketoja, E., Mikola, J., Terhivuo, J., Siren, T. & Nuutinen, V. 2011. Local land use effects and regional environmental limits on earthworm communities in Finnish arable landscapes. *Ecological Applications* 21: 3162–3177. <https://doi.org/10.1890/10-1801.1>
- Nissinen, O. & Hakkola, H. 1995. Effects of plant species and harvesting system on grassland production in northern Finland. *Agricultural and Food Science* 4(5–6): 479–494. <https://doi.org/10.23986/afsci.72624>
- Norderhaug, A., Clemmensen, K.E., Kardol, P., Thorhallsdottir, A.G. & Aslaksen, I. 2023. Carbon sequestration potential and the multiple functions of Nordic grasslands. *Climatic Change* 176(5): 55. <https://doi.org/10.1007/s10584-023-03537-w>
- Nummelin, J., Hankalin, V. & Raiko, M. 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen – Polttoaineen kuivaustekniikat. Motiva, Helsinki. 56 s. https://www.motiva.fi/ajankoh-taista/julkaisut/teollisuus/ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_polttoai- neen_kuivaustekniikat.10766.shtml (Viitattu 12.8.2025).
- Nykänen, A., Jauhiainen, L., Lindström, K. & Kemppainen, J. 2008. Field-scale spatial variation in yields and nitrogen fixation of clover-grass leys and in soil nutrients. *Agricultural and Food Science* 17(4): 376–393. <https://doi.org/10.2137/145960608787235568>
- Nobel Prize 2025. The Nobel Prize in Chemistry 1945. NobelPrize.org. <https://www.nobel-prize.org/prizes/chemistry/1945/summary/>
- O'Malley, J., Finn, J.A., Malisch, C.S., Suter, M., Meyer, S.T., Peratoner, G., Thivierge, M.-N., Abalos, D., Adler, P.R., Bezemer, T.M., Black, A.D., Ergon, Å., Golińska, B., Grange, G., Hakl, J., Hoekstra, N.J., Huguenin-Elie, O., Jing, J., Jungers, J.M., Lajeunesse, J., Loges, R., Louarn, G., Lüscher, A., Moloney, T., Reynolds, C.K., Sturite, I., Sultan Khan, A., Vishwakarma, R., Zhang, Y., Zhu, F. & Brophy, C. 2025. Multispecies grasslands produce more yield from lower nitrogen inputs across a climatic gradient. *Science* 391(6781): 179–183. <https://doi.org/10.1126/science.ady0764>
- Paliskuntain yhdistys 2026. Porotietoa, Tilastoja. <https://paliskunnat.fi/py/materiaalit/tilastot/>
- Pap, N., Granato, D., Järvenpää, E., Tienaho, J., Marnila, P., Hellström, J., Pihlava, J.-M., Franco, M., Stefański, T. & Rinne, M. 2024. Biorefining of legume and grass biomasses: bioactivities and functional properties of the green juice. *Future Foods* 9: 100331. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100331>.

- Parsons, D., Nadeau, E., Oliveira se Sousa, D., Åkerfeldt, M., Bernes, G., Hansson, P., Åhman, B., Palmborg, C., Picasso, V.D., Micke, B., Knicky, M., Arvidsson Segerkvist, K., Bergqvist, S., Rustas, B.-O., Lidfeldt, M., Remvig, D. & Wallsten, J. 2024. Leys from a Nordic perspective - A knowledge compilation. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Crop Production Ecology. <https://doi.org/10.54612/a.1kvv46i0hf>
- Phalan, B., Onial, M., Balmford, A. & Green, R.E. 2011. Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science* 333(6047): 1289–1291.
- Pojić, M., Mišan, A. & Tiwari, B. 2018. Eco-innovative technologies for extraction of proteins for human consumption from renewable protein sources of plant origin. *Trends in Food Science & Technology* 75: 93–104. s
- Poronhoitolaki 848/1990. <https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/1990/848>
- Poten & Partners 2025. LNG in World Markets: US LNG Contract Prices Rise on Higher Costs, EPC Price Refreshes. <https://www.poten.com/lng-opinions-us-lng-contract-prices-rise-on-higher-costs-epc-price-refreshes/>
- Pouta, E., Grammatikopoulou, I., Hurme, T., Soini, K., & Uusitalo, M. 2014. Assessing the Quality of Agricultural Landscape Change with Multiple Dimensions. *Land* 3(3): 598–616. <https://doi.org/10.3390/land3030598>
- Pyykkönen, V., Winquist, E., Virkkunen, E., Annunen, V. & Rasi, S. 2023. Biokaasulaskurin käyttöohje 21.12.2023. Luonnonvarakeskus. <https://maatalousinfo.luke.fi/fi/laskurit/biogas>
- Rasse, D.P., Rumpel, C. & Dignac, M.-F. 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *PlantSoil* 269: 341–356.
- Ravindran, R., Koopmans, S., Sanders, J.P., McMahon, H. & Gaffey, J. 2021. Production of green biorefinery protein concentrate derived from perennial ryegrass as an alternative feed for pigs. *Clean Technologies* 3(3): 656–669.
- Richardson, J., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S.E., Donges, J.F., Fetzer, I., ...& Rockström, J. 2023. Earth beyond six of nine Planetary Boundaries 9(37): eadh2458. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/sciadv.adh2458>
- Rinne, M. & Virkkunen, E. (toim.) 2021. Suomalaisen kotieläintuotannon kokonaiskestävyys : Kilpailukyky suhteessa tärkeimpiin kilpailijamaihin. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 55/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-253-7>
- Rinne, M. (toim.) 2025. Ilmastoviisaat ruokintaratkaisut Suomen maidontuotannossa : IRMA-hankkeen loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 32/2025. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-419-052-7>.
- Rinne, M. 2024. Novel uses of ensiled biomasses as feedstocks for green biorefineries. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 15: 36. <https://doi.org/10.1186/s40104-024-00992-y>.
- Rinne, M., Winquist, E., Pihlajaniemi, V., Niemi, P., Seppälä, A. & Siika-aho, M. 2020. Fibrolytic enzyme treatment prior to ensiling increased press-juice and crude protein yield from grass silage. *Bioresource Technology* 299: 122572. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122572>

- Rinne, M., Franco, M., Stefański, T., Ghalibaf, M., Fidelis, M., Järvenpää, E. & Pap, N. 2022. Legume biomasses produce high soluble protein yields in a green biorefinery concept. *Grassland Science in Europe* 27: 268–270. https://www.europeangrassland.org/fileadmin/documents/Infos/Printed_Matter/Proceedings/EGF2022.pdf.
- Rinne, M., Stefański, T., Franco, M., Jalava, T. & Kuoppala, K. 2024. Forage type and additive effects on fermentation quality and biorefinery performance of silages. *Grass and Forage Science*. <https://doi.org/10.1111/gfs.12671>.
- Ruokafakta 2026. Luomutuotannon kansainvälinen vertailu. saatavilla: [Luomutuotannon kansainvälinen vertailu - Ruokafakta](#)
- Saarinen, E., Salo, K., Virkajärvi, P., Hyrkäs, M., Suomela, R., Pesonen, M., Niskanen, M. & Huuskonen, A. 2012. Vaihtoehtoisia rehukasveja nautakarjatiloilille. MTT:n Raportti 77. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/480350?show=full>
- Sajjonkari-Pahkala, K. 2001. Non-Wood Plants as Raw Material for Pulp and Paper. Ph.D. Thesis, University of Helsinki, Helsinki, 2001. <https://journal.fi/afs/article/view/5707> (Viitattu 10.2.2025).
- Santamaria-Fernandez, M., Ytting, N.K., Lübeck, M. & Uellendahl, H. 2020. Potential Nutrient Recovery in a Green Biorefinery for Production of Feed, Fuel and Fertilizer for Organic Farming. *Waste Biomass Valor* 11: 5901–5911. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00842-3>
- Satosalmi, A.-M. 2024. Ruotsin ja Suomen biokaasusyötteiden erot. PowerPoint-esitys 19.9.2024 Biotalouspäivillä.
- Savonen, O., Franco, M., Stefański, T., Mäntysaari, P., Kuoppala, K. & Rinne M. 2020. Grass silage pulp as a dietary component for high yielding dairy cows. *Animal* 14: 1472–1480. <http://dx.doi.org/10.1017/S1751731119002970>.
- Sazzini, L. 2023. Paper recycling: an ever-evolving industry. PricePedia. <https://www.pricepedia.it/en/magazine/article/2024/09/02/paper-recycling-an-ever-evolving-industry/> (Viitattu 12.8.2025).
- Schröder C., Dahms T., Paulitz J., Wichtmann W. & Wichmann S. 2015. Towards large-scale paludiculture: addressing the challenges of biomass harvesting in wet and rewetted peatlands. *Mires and Peat* 16(13): 1–18.
- Selander, J. 2025. Kiuruvesi-lehti. St1 rakentaa Kiuruvedelle biokaasun tankkausaseman – Kaupunginhallituksessa maanantaina maanvuokrasopimus. <https://kiuruvesilehti.fi/-/2025/10/16/st1-rakentaa-kiuruvedelle-biokaasun-tankkausaseman-kaupunginhallituksessa-maanantaina-maanvuokrasopimus/>
- Selge, A. (toim) 2025. Säilörehua pintaa syvemmältä. Opas kestävään säilörehun tuottamiseen. ISBN: 978-9908-9711-5-5. 109 s. <https://www.proagria.fi/uploads/ProAgria/-Lansi/Kestavan-sailorehutuotannon-opas-2025.pdf>
- Seppälä, J., Ahlvik, L., Lehtonen, A., Leino, M., Mosley, F., Mäkipää, R., Ollikainen, M., Salo, M., Soimakallio, S., Toiviainen, A., Vesa, S. & Vikfors, S. 2025. Arvio Suomen maankäyttö-sektorin tilanteesta – Tarkastelussa EU:n LULUCF-velvoitekaudet 2021–2025 ja 2026–2030. Suomen ilmastopaneelin raportti 1/2025. <https://doi.org/10.31885/9789527457344>

- Seppälä, A., Kässi, P., Lehtonen, H., Aro-Heinilä, E., Niemeläinen, O., Lehtonen, E., Höhn, J., Salo, T., Keskitalo, M., Nysand, M., Winqvist, E., Luostarinen, S. & Paavola, T. 2014. Nurmesta biokaasua liikennepolttoaineeksi. MTT raportti 151. <https://jukuri.luke.fi/server/api/core/bitstreams/90f8509f-258d-456c-bb49-e2a1396e7214/content>
- SLK 2024. Suomen Lantakaasu Oy 11.11.2024. Suomen Lantakaasu investoi yli 80 miljoonaa Kiuruveden biokaasulaitoshankkeeseen. <https://www.suomenlantakaasu.fi/artikkelit/suomen-lantakaasu-investoi-yli-80-miljoonaa-kiuruveden-biokaasulaitoshankkeeseen/>
- Soppela, P. & Turunen, M. 2017. Sopeutuuko porotalous kasautuvien muutosten paineessa? Teoksessa: Tennberg, M., Emelyano-va, A., Eriksen, H., Haapala, J., Hannukkala, A., Jaakkola, J.J.K., Jouttijärvi, T., Jylhä, K., Kauppi, S., Kietäväinen, A., Korhonen, H., Korhonen, M., Luomaranta, A., Magga, R., Mettiäinen, I., Näkkäläjäjärvi, K., Pilli-Sihvola, K., Rautio, A., Rautio, P., Silvo, K., Soppela, P., Turunen, M., Tuulentie, S. & Vihma, T. Barentsin alue muuttuu – miten Suomi sopeutuu? Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 31/2017. ss. 68–85.
- Spoof-Tuomi, K. 2020. Techno-economic analysis of biomethane liquefaction processes. Biogas Utilization Opportunities in Ostrobothnia Region. Vaasan yliopisto. https://www.uwasa.fi/sites/default/files/2020-12/Techno_economic_analysis_of_biomethane_liquefaction_processes.pdf
- Stødkilde, L., Ambye-Jensen, M. & Jensen, S.K. 2021. Biorefined Organic Grass-Clover Protein Concentrate for Growing Pigs: Effect on Growth Performance and Meat Fatty Acid Profile. *Animal Feed Science and Technology* 276: 114943. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114943>.
- Storberg, J. 2021. Tiedätkö mitä säilörehusi maksaa? Progrid Länsi-Suomi. https://www.progrid.fi/uploads/archive/attachment/rehujen_tuotantokustannus_tulosseminaari_2021_j_storberg.pdf. (Viitattu 8.12.2025)
- Stødkilde, L., Damborg, V.K., Jørgensen, H., Lærke, H.N. & Jensen, S.K. 2019. Digestibility of fractionated green biomass as protein source for monogastric animals. *Animal* 13(9): 1817–1825. <https://doi.org/10.1017/S1751731119000156>
- Świątek, K., Gaag, S., Klier, A., Kruse, A., Sauer, J. & Steinbach, D. 2020. Acid Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass: Sugars and Furfurals Formation. *Catalysts* 10(4): 437. <https://doi.org/10.3390/catal10040437>.
- Termonen, M., Korhonen, P., Kykkänen, S., Kärkönen, A., Toivakka, M., Kauppila, R. & Virkajärvi, P. 2020. Effects of nitrogen application rate on productivity, nutritive value and winter tolerance of timothy and meadow fescue cultivars. *Grass and Forage Science* 75: 111–126. <https://doi.org/10.1111/gfs.12461>
- Thers, H., Stødkilde, L., Jensen, S.K. & Eriksen, J. 2021. Linking Protein Quality in Biorefinery Output to Forage Crop Crude Protein Input via the Cornell Net Carbohydrate and Protein System. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 193: 2471–2482. <https://doi.org/10.1007/s12010-021-03496-x>

- Thomsen, M.H., Andersen, M. & Kiel, P. 2005. Plant Juice in the Biorefinery—Use of plant juice as fermentation medium. Teoksessa Kamm, B., Gruber, P.R. & Kamm, M. (toim.). Biorefineries-Industrial Processes and Products: Status Quo and Future Directions. ss. 295–314. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9783527619849.ch13>
- Tiainen, J., Hyvönen, T., Hagner, M., Huusela-Veistola, E., Louhi, P., Miettinen, A., Nieminen, T.M., Palojärvi, A., Seimola, T., Taimisto, P. & Virkajärvi, P. 2020. Biodiversity in intensive and extensive grasslands in Finland: the impacts of spatial and temporal changes of agricultural land use. *Agricultural and Food Science* 29: 68–97
- Tilastokeskus 2025. Maatalouden tulot, menot ja tuotanto, vuosittain, 2010–2025. https://pxdata.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_eaa/statfin_eaa_pxt_12d7.px/
- Toivonen, M., Huusela, E., Hyvonen, T., Marjamäki, P., Jarvinen, A. & Kuussaari, M. 2022. Effects of crop type and production method on arable biodiversity in boreal farmland. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 337: 108061. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109010>
- Utriainen L., Virman M., Laakso A., Ritvanen J., Jylhä K. & Merikanto J. 2025. Less frequent but more intense summertime precipitation in Finland: results from a convection-permitting climate model. *Boreal Environment Research* 30: 93–109. <https://doi.org/10.60910/ber2025.xv04-3n48>
- Valtioneuvosto 2025. EU julkaisi uuden biotalousstrategian – tavoitteena EU:n kilpailukyvyyn varmistaminen ja huoltovarmuuden tukeminen. <https://valtioneuvosto.fi/-/1410877/-eu-julkaisi-uuden-biotalousstrategian-tavoitteena-eu-n-kilpailukyvyyn-varmistaminen-ja-huoltovarmuuden-tukeminen>
- Vainio, M., Winqvist, E., Tampio, E., Ervasti, S. & Stefanski, T. 2019. Biorefining grass silage for farm-scale use – separation efficiency and biomethane potential. In: 6th World Congress on Anaerobic Digestion, June 2019, Delft, The Netherlands.
- Vainio, E. (toim.) 2022. Maatalouden tyyppihaaste – vaihtoehtoja ja ratkaisuja : Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 53/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 68 s.
- Vepsäläinen, V. 2010. Energy crop cultivations of reed canary grass – an inferior breeding habitat for the skylark, a characteristic farmland bird species. *Biomass and Bioenergy*, 34: 993–998. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.014>
- Virkajärvi, P., Kykkänen, S., Rätty, M., Hyrkäs, M., Järvenranta, K., Isolhti, M. & Kauppila, R. 2014. Nurmien kaliumtalous. MTT:n raportti 165.
- Virkajärvi, P., Rinne, M., Mononen, J., Niskanen, O., Järvenranta, K. & Sairanen, A. 2015. Dairy production systems in Finland. In van den Pol-van Dasselaar, A., Aarts, H.F.M., De Vliegher, A., Elgersma, A., Reheul, D., Reijneveld, J.A., Verloop, J. & Hopkins, A. (toim.). Grassland and forages in high output dairy farming systems: Proceedings of the 18th symposium of the European grassland federation 20: 51–66. Wageningen Academic Publishers. https://www.europeangrassland.org/fileadmin/documents/Infos/Printed_Matter/Proceedings/EGF2015.pdf
- Virkajärvi, P., Shurpali, N., Pyykkönen, V., Kykkänen, S., Korhonen, P. & Luostarinen, S. 2021. Maatilan ilmastopäätöt ja ravinnekierrat parempaan hallintaan biokaasun ja apilanurmen tuotannon yhdistämisellä – BIOKAASUAPILA 2018–2020. Loppuraportti 5.5.2021

- Vogel, A., Scherer-Lorenzen, M. & Weigelt, A. 2012. Grassland Resistance and Resilience after Drought Depends on Management Intensity and Species Richness. PLoS ONE 7(5): e36992. doi:10.1371/journal.pone.0036992
- Vural Gursel, I., Van Groenestijn, J., Elbersen, W., Schelhaas, M.-J., Nabuurs, G.-J., Kranendonk, R., De Jong, A., Van Leeuwen, M. & Smits, M.-J. 2020. Local Supply of Lignocellulosic Biomass to Paper Industry in Gelderland: Development of Circular and Value-Added Chains; Wageningen Food & Biobased Research. Wageningen. <https://doi.org/10.18174/522235>.
- Wall, D.M., Allen, E., Straccialini, B., O'Kiely, P. & Murphy, J.D. 2014. The effect of trace element addition to mono-digestion of grass silage at high organic loading rates. Bioresource Technology 172: 349–355. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852414013170>
- Wega Oy 2025. Varsinais-Suomen kiertotalouslaitos on nyt Varsinais-Suomen biojalostamo – Uusi nimi kuvaa paremmin hankkeen monipuolisuutta ja kokoluokkaa. <https://wega.fi/ajankohtaista/varsinais-suomen-kiertotalouslaitos-on-nyt-varsinais-suomen-biojalostamo-uusi-nimi-kuvaa-paremmen-hankkeen-monipuolisuutta-ja-kokoluokkaa/>
- Wilkinson, J.M. & Rinne, M. 2018. Highlights of progress in silage conservation and future perspectives. Grass and Forage Science 73: 40–52. doi 10.1111/gfs12327. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gfs.12327/epdf>
- Willför, S., Alén, R., van Dam, J., Liu, Z. & Tähtinen, M. Raw Materials. 2011. Teoksessa: Fardim, P. (toim.). Papermaking science and technology. Book 6, Chemical pulping. Part 1, Fibre chemistry and technology. Papermaking Science and Technology; Finnish Paper Engineers' Association: Helsinki. ss. 16–186.
- Winqvist, E., Joutsjoki, V., Lokka, J., Lehtonen, E., Anttila, P., Ronkainen, A., Suokannas, A., Holmström, E., Lindblad, J., Routa, J., Brännström, H., Järvenpää, E., Saranpää, P., Väättäinen, K., Kankaanhuhta, V., Lötjönen, T., Niemeläinen, O., Saarni, K., Rahkonen, R., Setälä, J., Helin, J. & Rikkinen, P. 2022. Biotalous raaka-aineet ja materiaalivirrat hyötykäyttöön logistiikkaa tehostamalla : Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 83/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 83 s.
- Zhang, H. 2017. Fertilizer nutrient in animal manure. Oklahoma State University Extension. <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/fertilizer-nutrients-in-animal-manure.html>

Liitteet

Liite 1. Määdätyksen kannattavuuslaskelman oletukset.

Nurmen määdätys voidaan toteuttaa esimerkiksi kuivamäädätysreaktoreissa tai märkämäädätysreaktoreissa. Märkämäädätyksessä voidaan käsitellä nurmen kaltaisia kiinteitä syötteitä, jos syötettä tai reaktorin sisältöä laimennetaan esimerkiksi määdätteestä separoidulla nestejakeella. Nurmi- (ka 25 %) tai kiintojaesyöte (ka 53 %) laimennetaan 10 % kuiva-ainepitoisuuteen määdätteen dekantterilinkoseparoinnissa syntyvällä nestejakeella (Wall ym. 2014). Maatiloille palautetaan kuivajae sekä mahdollisesti kierrätyksestä ylijäävä nestejae. Keskitetyssä määdätyslaitoksen yhteydessä on pienet puskurivarastot rehussyötteelle sekä maatiloille palautettaville määdätteen separointijakeille.

Märkämäädätykseen perustuvan määdätyslaitoksen investointikustannukseksi arvioitiin 1 395 €/kW, joka sopii BIP 2023:ssa raportoituun yli 14 MW kaasutehon raakakaasuntuotantolaitosten vaihteluväliin (850–1 600 €/kW). Ylläpitokustannukset, työvoimakustannukset ja vakuutukset arvioitiin olevan yhteensä 3,5 % määdätyslaitoksen tukemattomasta investointikustannuksesta. Investoinnin vuotuisten kustannusten laskennassa (annuiteetti) korko oli 5 %. Määdätyksen lämmönkulutukseksi arvioitiin 15 % ja sähkönkulutukseksi 5 % tuotetun biotaanin energiasisällöstä. Määdätyslaitokselle hankittavan lämmön hinnaksi oletettiin 60 €/MWh ja sähkön hinnaksi 80 €/MWh.



Löydät meidät verkosta

luke.fi



Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki