



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022

Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit

Katariina Manni (toim.)

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022

Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit

Katariina Manni (toim.)

Kirjoittajat:

Luke: Gabriel Da Silva Viana, Heidi Högel, Katariina Manni, Markku Saastamoinen,
Tapio Salo, ja Ari-Matti Seppänen. etunimi.sukunimi@luke.fi

Syke: Juha Grönroos, Annika Johansson, Suvi Lehtoranta ja Tanja Myllyviita.
etunimi.sukunimi@syke.fi

MMM: Maarit Hellstedt. etunimi.sukunimi@gov.fi



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin



Viittausohje:

Manni, K. (toim.). 2022. Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 108 s.

Viittausohje yksittäiseen artikkeliin:

Saastamoinen, M., Manni, K. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien ominaisuuksien vertailu. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 11–35.

Katariina Manni, ORCID ID, <https://orcid.org/0000-0002-7010-5305>



ISBN 978-952-380-363-3 (Painettu)

ISBN 978-952-380-364-0 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-364-0>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Katariina Manni (toim.)

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2022

Julkaisuvuosi: 2022

Kannen kuvat: Osmo Keränen, Katariina Manni, Marianna Myllymäki

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

Alkusanat

Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit (Turveke) oli Luonnonvarakeskuksen (Luke) ja Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) yhteishanke, joka käynnistyi 1.8.2019 ja päättyi 31.12.2021. Hankkeessa etsittiin turveta korvaavia, kohtuuhintaisia ja tilojen nykykäytäntöihin soveltuvia kuivikevaihtoehtoja. Kuivikemateriaalien vertailussa on keskitytty materiaaleihin, joita ainakin joillain alueilla on saatavissa siinä määrin, että niiden käyttö kuivikkeeksi olisi mahdollista. Koska tarkoitus oli löytää materiaaleja, joita ei tähän mennessä ole juurikaan tähän tarkoitukseen käytetty, tunnetut ja yleisesti käytetyt kuivikemateriaalit, kuten viljan oljet, sahanpuru ja kutteri, jätettiin tarkastelun ulkopuolelle.

Turvetta korvaavien kuivikemateriaalien ominaisuuksia selvitettiin laboratoriomittakaavassa tehdyissä vertailuissa. Kuivikeominaisuuksien ja materiaalien saatavuuden perusteella valittujen muutamien kuivikemateriaalien toimivuutta todennettiin käytännön olosuhteissa hevosilla, broilereilla ja lihanaudoilla tehdyissä kuivikevertailuissa ja kuivikelannoilla tehdyssä lannoitekokeessa. Lisäksi selvitettiin käytännön olosuhteissa testattujen kuivikemateriaalien käytön taloudellinen kannattavuus ja hiilijalanjälki. Tässä raportissa on koottuna hankkeessa toteutettujen tutkimusosioiden tulokset, joiden toivotaan omalta osaltaan edistävän suomalaista kotieläintalouden kehittämistä.

Hanketta rahoitettiin Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahastosta, ja tuki myönnettiin Hämeen ELY-keskuksen kautta. Hanketta toteutettiin yhteistyössä alan toimijoiden (Suomen Siipikarjaliitto ry, Suomen Broileryhdistys ry, Hippolis Hevosalan osaamiskeskus ry ja Pihvikarjaliitto ry) kanssa.

Hankkeen etenemiseen myötävaikutti aktiivisesti toiminut ohjausryhmä, jolta saimme arvokasta palautetta hankkeen toteuttamisen tueksi. Ohjausryhmän puheenjohtajana toimi Hanna Hamina (Suomen Siipikarjaliitto ry) ja muut jäsenet olivat Lassi Hurskainen (Hämeen ELY-keskus), Sari Luostarinen (Luke), Erja Mattila (Hippolis Hevosalan osaamiskeskus ry), Mika Puotunen (Suomen Broileryhdistys ry), Janne Räisänen (Pihvikarjaliitto ry) ja Kimmo Silvo (SYKE).

Kuivikemateriaalien laboratoriomittakaavassa ja käytännön olosuhteissa tehtyjen vertailujen toteutukseen antoivat merkittävän panoksen Luken tutkimusinsinööri Ville Ruohonen laboratoriovertailuissa sekä tutkimusmestarit Marianna Myllymäki hevosilla tehdyssä kuivikevertailussa, Toni Vesala broilereilla tehdyssä kuivikevertailussa ja Anna Tamminen lihanaudoilla tehdyssä kuivikevertailussa. Astiakokeen perustamisesta ja hoidosta vastasivat Luken Vitriinia-kasvihuoneen tutkimusmestarit Marjaana Virtasen johdolla. Luken laboratoriohenkilöstö antoi tärkeän panoksensa kuivikkeisiin liittyvissä analysoinneissa.

Hankkeen toteutukseen osallistui useita alan toimijoita. Asiantuntija-apua saimme erityisesti kuivikemateriaaleja käytännön olosuhteissa tehtyihin kuivikevertailuihin toimittaneilta tahoilta: Hannamaija Fontell (Biolan Group), Tuomas Pelto-Huikko (Biolan Group), Aimo Turunen (Kiteen Mato ja Multa), Raimo Kinnunen (Penerg Oy), Markku Punkari (Neova Oy ent. Vapo Oy), Pau-liina Näränen (Saimaan Virta Oy) ja Tanja Kukkola (Kestävästi luonnosta osk).

Hankkeen toteuttajat kiittävät rahoittajaa, ohjausryhmän jäseniä ja kaikkia hankkeen toteutukseen ja toimintaan osallistuneita yhteistyökumppaneita erittäin hyvästä ja antoisasta yhteistyöstä.

Jokioisilla tammikuussa 2022

Raportin kirjoittajat

Tiivistelmä

Katariina Manni (toim.)

Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 2 C, 31600 Jokioinen

Raportti kokoaa yhteen Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit -hankkeen tutkimusten tulokset. Raportissa käsitellään sekä laboratoriomittakaavassa että käytännön olosuhteissa broilereilla, hevosilla ja lihanaudoilla tehtyjä kuivikemateriaalien ominaisuuksien vertailuja, kuivikelantojen ominaisuuksia ja tyypin käyttökelpoisuutta sekä kuivikemateriaalien käytön kannattavuutta ja ilmastovaikutuksia. Kuivikemateriaalien vertailussa on keskitytty materiaaleihin, joita ainakin joillain alueilla on saatavissa siinä määrin, että niiden käyttö kuivikkeeksi olisi mahdollista. Koska tarkoitus oli löytää materiaaleja, joita ei tähän mennessä ole juurikaan tähän tarkoitukseen käytetty, tunnetut ja yleisesti käytetyt kuivikemateriaalit, kuten viljan oljet, sahanpuru ja kutteri, jätettiin tarkastelun ulkopuolelle.

Ensimmäisen artikkelin alussa on tarkasteltu lyhyesti kuivikemateriaalien saatavuutta. Tämän jälkeen artikkeli käsittelee laboratoriomittakaavassa tutkittujen potentiaalisten turvetta korvaavien materiaalien kuivikeominaisuuksia. Valittujen materiaalien kuivikeominaisuuksia tutkittiin kahdessa eri vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa mukana oli 16 materiaalia, jotka olivat korsimateriaaleja, puunjalostus- ja myllyteollisuuden sivujakeita, tekstiilijätettä sekä biohiili ja pajuhierre. Näistä valittiin nesteenpidätyskyvyn perusteella 10 materiaalia toiseen vaiheeseen. Molemmissa vaiheissa kuiviketurve oli vertailumateriaali. Materiaalien eri ominaisuuksien välillä oli eroja eikä niitä sen vuoksi voida laittaa paremmuusjärjestykseen.

Toinen artikkeli käsittelee broilereilla tehtyä kuivikevertailua, jossa verrattiin järviruoko- ja ruokohelpisilppua sekä rahkasammalta kuiviketurveeseen. Eri kuivikemateriaaleilla olleiden lintujen tuotantotuloksissa ei havaittu eroja koko vertailujakson ajalta laskettuna, mutta turve- ja rahkasammalkuivituksella olleet broilerit olivat selkeästi puhtaampia ja niiden jalkaterveys oli huomattavasti parempi kuin korsimateriaaleilla olleilla. Tulosten perusteella rahkasammal oli turpeen veroinen kuivikemateriaali broilereilla. Erityisesti lintujen likaisuuden ja heikentyneen jalkaterveyden vuoksi ruokohelpi- ja järviruokosilppu eivät soveltuneet broilereilla käytettäväksi kuivikkeeksi ainakaan yksinomaisten kuivikemateriaalina.

Kolmas artikkeli käsittelee hevosilla tehtyä kuivikevertailua, jossa verrattiin kutteripohjaista murukuiviketta, ruokohelpipellettiä ja tekstiilibrikettiä kuiviketurveeseen. Murukuivikkeella, ruokohelpipelletillä ja turpeella muodostui karsinaan hyvä patja. Vertailujakson puolivälissä ruokohelpipelletillä kuivitetut karsinat olivat huomattavan märkiä, eli sen nesteenpidätyskyky heikkeni valmistajan antamilla ohjeellisilla käyttömäärillä, minkä vuoksi kuivitusta lisättiin. Tekstiilibriketin käytettävyyttä kuivikkeena oli muita materiaaleja huonompi. Sonta ja märät kohdat erotuivat kuivikkeen seasta huonosti, mikä lisäsi kuivikkeen hukkaa. Lisäksi se oli painavaa ja pölyvää ja kostuessaan siitä irtosi väriä. Tekstiilibrikettiä lukuun ottamatta muut testatut materiaalit soveltuivat käyttöominaisuuksiensa puolesta turvetta korvaaviksi kuivikkeiksi hevosilla.

Neljäs artikkeli käsittelee lihanaudoilla tehtyä kuivikevertailua, jossa verrattiin ruokohelpisilppua kuiviketurveeseen. Kiloissa mitattuna turvetta kului huomattavasti enemmän kuin ruokohelpisilppua. Molemmilla kuivikemateriaaleilla eläimet pysyivät puhtaina. Ruokohelpi osoittautui turvetta enemmän lämpöä tuottavaksi kuivikkeeksi. Vaikka turve oli selkeästi ruokohelpiä kosteampi materiaali, ero ei näkynyt kuivikepatjojen kuiva-ainepitoisuuksissa. Ruokohelven pölyvyys oli sen huomattava haitta. Ruokohelpisilppu osoittautui varteenotettavaksi kuivikemateriaaliksi korvaamaan turvetta lihanaudoilla.

Viidennessä artikkelissa käsitellään kuivikelantojen tyyppien hyväksikäyttöä lannoituksessa. Kuivikelannat olivat peräisin broilereilla, hevosilla ja lihanaudoilla tehdyistä kuivikevertailuista. Tyyppien hyväksikäyttöä tutkittiin astiakokeena raiheinällä. Kaikki broilereilla käytetyt kuivikemateriaalit säilyttivät hyvän typpilannoitusvaikutuksen. Käytettäessä ruokohelpisilppua nautojen kuivikeena, muodostunut kuivikelanta ei eronnut merkittävästi lannoitusvaikutukseltaan verrattuna kuivikelantaan, jossa oli turvetta. Hevosenlannan osalta eri kuivikemateriaalit erosivat toisistaan eniten. Tekstiilibriketti ei nykyisessä käyttömuodossaan sovellu kuivikelannan mukana peltoon levitettäväksi. Ruokohelpipelletti ja puupohjainen murukuivike sitoivat omaan hajoamiseensa tyyppiä, mikä on otettava huomioon typpilannoituksen suunnittelussa.

Kuudes artikkeli käsittelee käytännön olosuhteissa vertailtujen kuivikemateriaalien käytön kannattavuutta. Ostokustannukset olivat keskeisin tekijä kuivituskustannusten muodostumiselle. Nykyisillä hinnoilla yksikään vertailuista kuivikkeista ei saavuttanut turpeelle kilpailukykyistä kuivituskustannusta. Tarkasteltaessa kehitysvaiheessa olevia ruokohelpi- ja järviruokopohjaisia kuivikkeita laskennallisten hintojen avulla, on ennustettavissa, että ruokohelvestä tulisi talousnäkökulmasta katsottuna kilpailukykyinen kuivike turpeelle sekä lihanaudoilla että broilereilla ja järviruokosta broilereilla. Tekstiilibriketin, ja jossain määrin myös rahkasammaleen, hinnoittelu ei ollut kuivikekäyttöön relevanttia johtuen erityisesti siitä, että rahkasammaleen tuotanto ja jalostus on vielä kehitysvaiheessa ja tekstiilibrikettiä ei ole aiemmin käytetty kuivikeena eikä siten myöskään hinnoiteltu kuiviketarkoitukseen.

Seitsemännessä artikkelissa on tiivistetysti koottu selvitys käytännön olosuhteissa vertailtujen kuivikemateriaalien ilmastovaikutuksista. Yksityiskohtainen raportti on luettavissa erillisessä SYKEN julkaisemassa raportissa Turvetta korvaavien kuivikemateriaalien ilmastovaikutukset. Tulokset osoittivat, että lähes kaikkien tutkittujen materiaalien hiilijalanjälki oli turvetta pienempi. Kuivikemateriaaleista järviruokosilpulla oli negatiivinen hiilijalanjälki, eli sen käyttö hillitsee ilmastomuutosta. Myös tekstiilibriketin ja kivennäismaalla viljellyn ruokohelven hiilijalanjäljet osoittautuivat turvetta pienemmiksi. Rahkasammaleen hiilijalanjälki oli turpeen tasolla, kun huomioitiin sen käyttömäärä suhteessa turpeeseen. Kutterista valmistetun murukuivikkeen hiilijalanjälki oli turvetta suurempi. Ruokohelven hiilijalanjälki puolestaan vaihteli merkittävästi riippuen mm. pellon maalajista, satotasosta ja juurimassan osuudesta.

Raportin lopussa olevaan Liitteeseen 1 on koottu broilereilla, hevosilla ja lihanaudoilla käytännön olosuhteissa vertailtujen kuivikemateriaalien tuloksia ja ominaisuuksia. Liitteen taulukkoon kootut tulokset perustuvat tässä hankkeessa tuotettuihin tuloksiin, eikä niitä voida siten yleistää. Koontitaulukon tulokset ovat suuntaa antavia ja niitä tulee tarkentaa jatkotutkimuksissa. Taulukkoon koottuja tuloksia voidaan käyttää ensisijaisesti kuivikemateriaalien ominaisuuksien vertailuun, mutta ne eivät ole kaikilta osin yleistettävissä olevia tunnuslukuja.

Asiasanat: kuivike, broileri, hevonen, lihanauta, lannoitus, kannattavuus, ilmastovaikutus

Abstract

This report summarizes the results of the research project "Alternative Bedding Materials Replacing Peat". It reports the properties of novel bedding materials, which can substitute peat for broilers, horses, and beef cattle, as well as the properties of litter manure and its nitrogen utilization by plants. Additionally, the profitability and climate impact of the use of various bedding materials were assessed. The properties of different bedding materials were tested both on a laboratory scale and in practical conditions.

The comparison of bedding materials focused on materials that are available to the extent, that their use as bedding would be possible. Because the aim was to find new materials that have not been widely used for this purpose, known and commonly used bedding materials such as straw, sawdust and wood chips were excluded from the study.

The availability of bedding materials is briefly reviewed at the beginning of the first article. The article then discusses the properties of potential peat replacement materials studied on a laboratory scale. The bedding properties of the selected materials were studied in two different stages. The first stage involved 16 materials, which were stalk materials, by-products from the wood and milling industry, textile waste, biochar and willow pulp. From these, 10 materials were selected for the second stage based on their water holding capacity. In both stages, peat was the reference material. However, because the materials were of different origin and had different properties, they cannot be ranked.

The second article deals with a comparison of bedding materials in broilers. Chopped common reed and reed canary grass and peat moss were compared to peat. No differences were observed in the production results of the broilers growing on different beddings. However, broilers grown on peat or peat moss were clearly cleaner and had significantly better foot health than those grown on stalk materials. Based on the results, peat moss was comparable to peat as a bedding material in broilers. Particularly, due to the dirtiness of the birds and their poor foot health, reed canary grass and chopped common reed were not suitable bedding materials for use in broilers, at least as an exclusive bedding material.

The third article deals with comparing wood-based crumb pellets, reed canary grass pellets and textile briquettes to peat in horses. A "bedding mattress" was formed in the stall with the studied bedding materials. In the middle of the comparison period, the stalls bedded with reed canary grass pellets were very wet, i.e. their urine holding capacity was reduced. The amount of reed canary grass pellets recommended by the manufacturer was not enough, and as a result, the amount of bedding material had to be increased to keep the bedding dry. The usability of textile briquettes as bedding was inferior to other materials. The faeces and wet spots separated poorly from the litter, which increased the consumption of the material. In addition, it was heavy and dusty to handle, and the colour of the material came off when wet. With the exception of textile briquettes, the other materials tested were suitable as peat substitutes in horses in terms of their properties.

The fourth article deals with a bedding material comparison in beef cattle. Chopped reed canary grass was compared to peat. Measured in kilograms, the use of peat was considerably higher than that of chopped reed canary grass. With both bedding materials, the animals were clean. Chopped reed canary grass produced more heat than peat as bedding. Although peat had clearly lower dry matter concentration than chopped reed canary grass, there was no difference in the dry matter concentration of the beddings. The dustiness of chopped reed

canary grass was a considerable disadvantage. Chopped reed canary grass proved to be a viable material to replace peat in beef cattle.

The fifth article deals with the nitrogen utilization of litter manure in fertilization. Litter manure was derived from bedding material comparisons with broilers, horses, and beef cattle. Nitrogen utilization was studied as a pot experiment with ryegrass. All the bedding materials used in the broilers retained a good nitrogen fertilizing effect. Litter manure from reed canary grass in beef cattle did not differ significantly in its fertilizing effect compared to the peat litter manure. In the case of horse manure, bedding materials differed the most. In its current form, the textile briquette manure is not suitable to be used in fields. Manure from reed canary grass pellets and wood-based crumb pellets bound nitrogen to their own decomposition, which must be taken into account in the planning of nitrogen fertilization.

The sixth article deals with the running costs of the bedding materials which were compared under the practical conditions with the three animal species. Purchasing costs were the most important factor in the bedding costs. At current prices, none of the bedding materials compared achieved a competitive cost for peat. Reed canary grass would become an economically competitive for peat in both beef cattle and broilers and common reed in broilers. The pricing of textile briquettes, and to some extent also peat moss, was not relevant for bedding use, particularly because the production and processing of peat moss is still under development and textile briquettes have not previously been used as beddings and thus not priced for that purpose.

The seventh article summarizes the climate impacts assessment of bedding materials which were compared under the practical conditions. The detailed report can be read in a separate publication. The results showed that almost all the materials studied had a smaller carbon footprint than peat. The carbon footprint of common reed was negative, meaning that its use can reduce greenhouse emissions. The carbon footprint of textile briquettes and reed canary grass grown on mineral soil also proved to be smaller than that of peat. The carbon footprint of peat moss was same level as peat. The carbon footprint of the wood-based crumb pellets was larger than peat. The carbon footprint of reed canary grass, on the other hand, varied significantly depending on e.g. the soil type, yield level and proportion of root mass in the field.

Keywords: beddings, broiler, horse, beef cattle, fertilization, profitability, climate impact

Sisällys

1. Kuivikemateriaalien ominaisuuksien vertailu.....	11
1.1. Johdanto.....	12
1.2. Aineisto ja menetelmät.....	13
1.2.1. Kuivikemateriaalien saatavuuskartoitus.....	13
1.2.2. Kuivikemateriaalit	14
1.2.3. Tilavuuspaino	15
1.2.4. Nesteenpidätyskyky.....	15
1.2.5. Koostumus	16
1.2.6. Ravinteiden pidättyminen	16
1.2.7. Kaasujen vapautuminen.....	16
1.2.8. Hajunsitomiskyky.....	17
1.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu	18
1.3.1. Koostumus	18
1.3.2. Tilavuuspaino	20
1.3.3. Nesteenpidätyskyky.....	21
1.3.4. Ravinteiden pidättyminen	22
1.3.5. Kaasujen vapautuminen.....	25
1.3.6. Hajunsitominen	29
1.4. Johtopäätökset	32
1.5. Viitteet	33
2. Kuivikemateriaalien vertailu broilereilla	36
2.1. Johdanto.....	37
2.2. Aineisto ja menetelmät.....	38
2.2.1. Kuivikemateriaalien valinta	38
2.2.2. Koejärjestelyt, eläimet ja kasvatusympäristö	38
2.2.3. Olosuhteiden mittaaminen, näytteiden otto ja analysointi.....	40
2.2.4. Tilastollinen analyysi.....	40
2.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu	40
2.3.1. Kuivikemateriaalien käyttömäärät.....	40
2.3.2. Kuivikemateriaalien ja kuivikelannan koostumus	41
2.3.3. Tuotantotulokset	42
2.3.4. Puhtaus ja jalkaterveys	44
2.4. Johtopäätökset	47
2.5. Viitteet	47

3. Kuivikemateriaalien vertailu hevosilla	50
3.1. Johdanto.....	51
3.2. Aineisto ja menetelmät.....	52
3.2.1. Kuivikemateriaalien valinta	52
3.2.2. Vertailun toteutus ja koehevoset	53
3.2.3. Olosuhteiden mittaus, näytteiden otto ja analysointi	55
3.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	56
3.3.1. Tallin lämpötila ja ilmankosteus	56
3.3.2. Kuivikemateriaalien käyttömäärät.....	56
3.3.3. Talli-ilman ammoniakkipitoisuus.....	59
3.3.4. Havainnot kuivikkeiden käyttöominaisuuksista	61
3.3.5. Kuivikemateriaalien ja kuivikelantojen koostumus	62
3.4. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	63
3.5. Viitteet	63
4. Kuivikemateriaalien vertailu lihanaudoilla	66
4.1. Johdanto.....	67
4.2. Aineisto ja menetelmät.....	68
4.2.1. Kuivikemateriaalien valinta	68
4.2.2. Koejärjestelyt, eläimet ja kasvatusympäristö	68
4.2.3. Mittaukset, näytteet ja analyysit.....	69
4.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	72
4.3.1. Kuivikemateriaalien käyttömäärät.....	72
4.3.2. Kuivikemateriaalien ja kuivikepatjojen ominaisuuksia.....	74
4.3.3. Kuivikemateriaalien käyttökokemuksia.....	77
4.3.4. Kuivikemateriaalien ja kuivikelantojen koostumus	78
4.4. Johtopäätökset	79
4.5. Viitteet	80
5. Kuivikelantojen ominaisuudet ja tynen käyttökelpoisuus.....	82
5.1. Johdanto.....	83
5.2. Aineisto ja menetelmät.....	83
5.2.1. Kuivikelannat	83
5.2.2. Kuivikelantojen käsittely	83
5.2.3. Astiakokeen toteutus	84
5.2.4. Mittaukset, näytteet ja analyysit	86
5.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	86

5.3.1.	Kuivikelantojen ominaisuudet astiakokeessa	86
5.3.2.	Kuivikelantojen vaikutus raiheinän satoon	87
5.3.3.	Kuivikemateriaalien vaikutus raiheinän typenottoon	89
5.4.	Johtopäätökset	91
5.5.	Viitteet	92
6.	Kuivikemateriaalien käytön kannattavuus	93
6.1.	Johdanto.....	94
6.2.	Aineisto ja menetelmät.....	94
6.3.	Tulokset ja tulosten tarkastelu	95
6.3.1.	Hevoset.....	95
6.3.2.	Lihanaudat.....	97
6.3.3.	Broilerit	98
6.4.	Johtopäätökset	99
6.5.	Viitteet	99
7.	Kuivikemateriaalien ilmastovaikutukset	101
7.1.	Ilmastovaikutusten laskennan kuvaus.....	101
7.2.	Tulokset	103
7.3.	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset.....	106
7.4.	Viitteet	107
Liitteet	108

1. Kuivikemateriaalien ominaisuuksien vertailu

Markku Saastamoinen¹, Katariina Manni¹ ja Maarit Hellstedt²

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 2 C, 31600 Jokioinen

² Maa- ja metsätalousministeriö, PL 30, 00023 Valtioneuvosto

Tiivistelmä

Eläinten terveydelle, hyvinvoinnille ja tuotannolle on oleellista, että kuivike pitää eläimen maakuupaikan kuivana ja puhtaana. Kuivikkeet vaikuttavat myös tuotantohygieniaan ja siten lopputuotteiden laatuun. Kuivikkeiden mikrobiologinen laatu on tärkeää, koska huono laatu lisää eläinten ja eläinsuojissa työskentelevien ihmisten sairastumisen riskiä. Hyvä kuivike tukee myös eläimen hengitysteiden terveyttä sitomalla ulosteista peräisin olevia haitallisia kaasuja. Turve on tunnetusti hyvä ja yleisesti käytetty kuivikemateriaali. Kiristyneiden ympäristövaatimusten seurauksena kuiviketurpeelle on kuitenkin löydettävä käyttökustannuksiltaan ja kuivikeominaisuuksiltaan kilpailukykyisiä vaihtoehtoja.

Laboratoriossa ja laboratoriomittakaavassa tutkittiin 16 potentiaalisen kuivikemateriaalin kuivikeominaisuuksia. Nämä olivat korsimateriaaleja, puunjalostus- ja myllyteollisuuden sivujaiteita, tekstiilijätettä sekä biohiili ja pajuhake. Vertailuna oli kuiviketurve. Ensimmäisessä vaiheessa kuivikemateriaaleista määritettiin kuiva-ainepitoisuus, ravinnepitoisuuksista kokonaistyyppi-, ammoniumtyppi- ja fosforipitoisuudet sekä nesteennpidätyskyky ja tilavuuspaino. Nesteennpidätyskyvyn perusteella toiseen vaiheeseen valittiin 10 materiaalia. Näistä määritettiin kaasujen vapautuminen sekä ravinteiden- ja hajunsitomiskyky.

Kuiva-ainepitoisuudet vaihtelivat 43–96 %:n välillä. Pienimmät kuiva-ainepitoisuudet olivat nol-lakuidulla ja turpeella. Tyyppi- ja fosforipitoisuudet olivat kaikilla kuivikemateriaaleilla pieniä. Kokonaistyyppipitoisuus vaihteli välillä 0,18–25,25 g/kg ja kokonaisfosforipitoisuus 0,02–12,00 g/kg. Suurimmat pitoisuudet olivat korsipohjaisilla materiaaleilla, viljankuorilla ja pajulla ja pienimmät tekstiilibriketillä ja puupohjaisilla materiaaleilla. Kuivikemateriaalien pH-arvot vaihtelivat välillä 3,98–9,09. Alhaisin pH oli turpeella, joka on tunnetusti hapan materiaali. Kuivikemateriaalien tilavuuspainot vaihtelivat välillä 30–626 kg/m³. Painavimpia materiaaleja olivat purupelletti, ruokohelpipelletti ja murukuivike, mikä johtui niiden prosessoinnista ja valmistusmenetelmästä. Kevyintä olivat kuivat ja irtonaiset pellavanolki ja osmankäämi. Nesteennpidätyskyky vaihteli välillä 1,1–4,3 kg vettä/kg tuoretta kuivikemateriaalia. Kilo ruokohelpisilppua pidätti eniten vettä ja pajuhake vähiten. Kaikki kuivikemateriaalit vähensivät lietelannan ammoniakki-kaasun vapautumista ja lietteen hajua.

Kuiviketurve osoittautui hyväksi kuivikemateriaaliksi. Kuivikkeina jo aiemminkin käytetty ruokohelpi sekä kutteripohjainen murukuivike olivat myös useiden eri kuivikeominaisuuksien suhteen hyviä. Joillakin materiaaleilla, kuten rapsinoljella ja osmankäämillä, nähtiin potentiaali joko sellaisenaan tai seoksissa käytettynä, mutta niiden saatavuus on tällä hetkellä olematonta. Turvetta korvaavien materiaalien tutkimusta tarvitaan edelleen lisää.

Asiasanat: kuivitus, nesteennpidätys, ravinteidensidonta, kaasujensidonta, hajunsidonta

1.1. Johdanto

Eläinten terveydelle, hyvinvoinnille ja tuotannolle on oleellista, että kuivike pitää eläimen maakuupaikan kuivana ja puhtaana. Kuivikkeet vaikuttavat tuotantohygieniaan ja siten lopputuotteiden laatuun. Erityisesti kuivikkeiden mikrobiologinen laatu on tärkeää, koska huono laatu lisää eläinten ja eläinsuojissa työskentelevien ihmisten sairastumisen riskiä. Hyvä kuivike tukee myös eläimen hengitysteiden terveyttä sitomalla ulosteista peräisin olevia haitallisia kaasuja.

Turve on Suomessa paljon käytetty kuivikemateriaali, mikä johtuu sen hyvistä kuivikeominaisuuksista ja saatavuudesta. Turpeella on erinomainen kyky sitoa kosteutta sekä sonnan ja virtsan kaasuja, erityisesti ammoniakkaa, ja siten vähentää hajujen muodostumista eläintilassa. Tyypillisesti turvekuivituksella olleilla broilereilla jalkaterveys on hyvä ja hevosilla hengitystieterveys parempi kuin muita kuivikkeita käytettäessä (Kaukonen 2017, Saastamoinen ym. 2015, Mönki ym. 2021). Lisäksi turvelannan jälkikäyttömahdollisuudet ovat hyvät, millä on erityinen merkitys hevosalalle, jossa lannalle ei ole useinkaan omaa käyttöä. Myös tiloilla, joilla kuivikelantaa muodostuu suuria määriä, on tärkeää, että kuivikelannalle on hyvät jatkokäyttömahdollisuudet esimerkiksi peltolannoitteena.

Suomessa kuiviketurvetta käytetään kotieläintuotannossaanoin 0,6–1,3 miljoonaa m³/v (Aro ym. 2021). Määrällisesti merkittävin käyttäjä on hevosala (Taulukko 1). Myös nautakarjatiljoilla käyttömäärät ovat suuria. Turpeen merkitys kuivikkeena korostuu erityisesti siipikarjatiljoilla, sillä niillä turpeen osuus käytetyistä kuivikemateriaaleista on noin 90 %, ja kasvava siipikarjanlihan tuotanto lisää turpeen käyttöä.

Taulukko 1. Turpeen osuus käytetyistä kuivikkeista ja vuotuiset käyttömäärät eri eläinryhmillä (Sutinen 2007, Iivonen 2008, Aro ym. 2021, Hamina 2021).

	Liha-nauta	Lypsy-lehmä	Hevo-nen	Siipi-karja
Turpeen osuus käytetyistä kuivikkeista, %	29–44	6–24	46	90
Turpeen kulutus, 1 000 m ³ /vuosi	180–280	65–260	310–800	≥150 ¹⁾

¹⁾ Tieto Suomen Siipikarjaliitosta (Hamina 2021).

Turpeen energiakorjuun nopea väheneminen vaikuttaa kuiviketurpeen saatavuuteen ja hintaan ja siten kotieläintilojen kuivikehuoltoon. Kuivikkeena käytettävä turve on suon pinnalta nostettava, vähän maaton karkea turvetta, joka nostetaan ennen syvemmällä esiintyvän polttoturpeen nostoa. Yksistään kuivike- ja kasvuturpeiden nostoa ei nähdä taloudellisesti kannattavana. Siksi on löydettävä käyttökustannuksiltaan ja kuivikeominaisuuksiltaan kilpailukykyisiä, turvetta korvaavia materiaaleja. Lisäksi turvetta korvaavien kuivikevaihtoehtojen on oltava myös lannan ravinteiden kierrättämisen ja muun jälkikäytön kannalta vähintään yhtä hyviä kuin turve. Myös kuivikemateriaalien ympäristövaikutuksiin tulee kiinnittää yhä enemmän huomiota.

Tässä raportissa käsitellään Turveke -hankkeen tuloksia laboratorioissa ja laboratoriomittakaavassa tehdyissä kokeissa, joilla selvitettiin valittujen kuivikemateriaalien ominaisuuksia verrattuna kuiviketurpeeseen. Kuivikemateriaalien vertailussa on keskitytty materiaaleihin, joita ainakin joillain alueilla on saatavissa siinä määrin, että niiden käyttö kuivikkeeksi olisi mahdollista. Koska tarkoitus oli löytää materiaaleja, joita ei tähän mennessä ole juurikaan tähän tarkoitukseen käytetty, tunnetut ja yleisesti käytetyt kuivikemateriaalit, kuten viljan oljet, sahanpuru ja kutteri, jätettiin tarkastelun ulkopuolelle.

1.2. Aineisto ja menetelmät

1.2.1. Kuivikemateriaalien saatavuuskartoitus

Ennen varsinaisia kuivikemateriaalien vertailuja kartoitettiin yleisellä tasolla, minkälaisia turvetta korvaavia teollisuuden sivujakeita tai muita materiaaleja on saatavilla. Tietoa hyödynnettiin tehäessä kuivikemateriaalien valintaa laboratoriotesteihin. Kartoituksessa keskityttiin materiaaleihin, joita ainakin joillain alueilla on saatavissa siinä määrin, että niiden käyttö kuivikkeeksi olisi mahdollista. Koska tarkoitus oli löytää materiaaleja, joita ei tähän mennessä ole juurikaan tähän tarkoitukseen käytetty, viljan oljet jätettiin tarkastelun ulkopuolelle.

Sanomalehtipaperi ja kartonki olivat kirjallisuuden perusteella mielenkiintoisia materiaaleja. Kun niiden saatavuutta selvitettiin Suomen keräystuote Oy:stä syksyllä 2019, niitä ei pidetty käyttökelpoisina, koska puhdas sanomalehtipaperi (painotaloista tuleva) meni selvityksen tekohetkellä rakennuseristeteollisuuteen, ja siitä oli osin pulaakin, koska paperin kulutus vähenee vuosittain 6–7 %. Sanomalehtipaperin hinta oli tuolloin noin 150 €/tonni, ja esim. Ruotsista tuotuna se maksoi 185 €/tonni. Lisäksi keräyspaperissa on seassa paljon aikakausilehtipaperia, jossa on pintakäsittelynä käytetty savea, jolloin se ei toimi kuivikkeena.

Kartonkijätteellä oli myös kartoituksen tekohetkellä syksyllä 2019 hyvä kysyntä. Joissain tilanteissa sitä jopa tuotiin maahan. Kierrätetyn kartonkipahvin tuontihinta oli selvityshetkellä noin 130 €/tonni. Siten se ei myöskään sen hetkisen tilanteen mukaan ollut potentiaalinen kuivikemateriaali niukan saatavuuden vuoksi.

Rahkasammal oli kirjallisuuden perusteella mielenkiintoinen materiaali. Koska sen uudistumisaika (kasvaa 25–30 vuodessa noin 25 cm:n paksuiseksi kerrokseksi) on kohtalaisen pitkä, sitä ei hankkeen alkuvaiheessa otettu tarkasteluun mukaan, koska se ei täyttänyt asetettuja uusiutuvuuden kriteereitä. Hankeaikana yleinen kiinnostus rahkasammaleen kuivikekäyttöön kuitenkin lisääntyi ja se päätettiin ottaa yhdeksi pilotoitavaksi kuivikemateriaaliksi broilereilla. Sen saatavuus ja riittävyys kuivikekäyttöön on kuitenkin vielä huonoa, koska käyttö kohdistuu lähinnä puutarhojen kasvualustatarpeisiin.

Monien potentiaalisten turvetta korvaavien kuivikemateriaalien käyttöä rajoittaa niiden rajallinen saatavuus. Korsimateriaaleista esimerkiksi rapsinolki, pellava, ruokohelpi, kuituhamppu, järviruoko ja osmankäämi voisivat olla käyttökelpoisia kuivikemateriaaleja, mutta niiden saatavuutta pitäisi parantaa huomattavasti, mikäli niitä alettaisiin laajemmassa mittakaavassa käyttää kuivikkeina. Sama on myös pajun kohdalla. Lisäksi, vaikka jonkin potentiaalisen kuivikemateriaalin saatavuus olisi hyvä, materiaalien ominaisuudet saattavat vaatia prosessointia, mikä yleensä lisää kustannuksia ja siten saattaa rajoittaa niiden käyttöä. Esimerkiksi selluteollisuuden sivujake nollakuitu voisi olla potentiaalinen kuivikemateriaali, mutta alhaisen kuiva-ainepitoisuuden vuoksi se vaatisi ensin kuivauksen ja mahdollisesti myös materiaalin prosessoimisen tasalaatuisemmaksi ennen kuivikekäyttöä.

Teollisuuden erilaiset sivuvirrat, joissa liikkuu yleensä suuria massoja, ovat saatavuuden puolesta potentiaalisia, turvetta korvaavia vaihtoehtoja, mutta niiden osalta tulee varautua mahdolliseen lisäprosessoinnin tarpeeseen. Viljeltävät kuivikemateriaalit puolestaan vaativat tuotannon merkittävää lisäämistä, mikäli niillä pyritään korvaamaan kuiviketurpeen käyttöä. Lisäksi viljeltävien ja erityisesti luontaisesti kasvavien materiaalien hyödyntäminen kuivikkeena edellyttää erityisesti korjuun ja varastoinnin osalta vielä paljon kehittämistä.

Kartoituksen perusteella laboratoriokokeissa päädyttiin testaamaan pääasiassa korsimateriaaleja sekä puunjalostusteollisuuden ja myllyteollisuuden sivujakeita.

1.2.2. Kuivikemateriaalit

Laboratoriossa ja laboratoriomittakaavassa tutkittiin valittujen kuivikemateriaalien kuivikeominaisuuksia kahdessa eri vaiheessa. Ensimmäiseen vaiheeseen valittiin 16 potentiaalisesti kuivikkeeksi katsottua materiaalia. Valinnan perusteina oli niiden uutuus ja kokonaan puuttuva tieto kuivikeominaisuuksista, saatavuus sivuvirtoina tai mahdollisuus tuottaa niitä tulevaisuudessa esimerkiksi kosteikkokasveina. Nämä olivat korsimateriaaleja, puunjalostus- ja myllyteollisuuden sivujakeita, tekstiilijätettä sekä biohiili ja pajuhake. Vertailumateriaalina oli kuiviketurve (Taulukko 2). Ensimmäisessä vaiheessa kuivikemateriaaleista määritettiin kuiva-ainepitoisuus, ravinnepitoisuuksista kokonaistyyppi-, ammoniumtyyppi- ja fosforipitoisuudet sekä nesteenpidätyskyky ja tilavuuspaino.

Taulukko 2. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa laboratorionkokeissa olleet kuivikemateriaalit ja materiaalien toimittajat.

Korsimateriaalit	Puunjalostus-teollisuuden sivujakeet	Myllyteollisuuden sivujakeet	Muut materiaalit
Hevoshelpi, silputtu, (ruokohelpipohjainen) <i>Kiteen Mato ja Multa Oy</i>	Murukuivike Vapo (kutterinlastusta puristettu) <i>Neova Oy (ent. Vapo Oy)</i>	Kaurankuori <i>Fazerin Mylly</i>	Tekstiilibriketti (lajittelematonta) <i>Partex-paja</i>
Ruokohelpi, silputtu <i>Kiteen Mato ja Multa Oy</i>	Purupelletti (kutterinpurusta puristettu) <i>Neova Oy (ent. Vapo Oy)</i>	Vehnänkuori <i>Myllyn Paras Oy</i>	Tekstiilipuuvilla ¹⁾ (100 % puuvillaa, koneellisesti lajiteltua) <i>Saimaan Virta Oy</i>
Ruokohelpi, pelletöity <i>Penerg Oy</i>	Nollakuitu <i>SoilFood Oy</i>		Tekstiiliseos ¹⁾ (65 % puuvillaa ja 35 % polyesteriä, koneellisesti lajiteltua) <i>Lahden ammattikorkeakoulu</i>
Järviruoko, silputtu <i>Kiteen Mato ja Multa Oy</i>			Biohiili <i>Carbons Finland Oy</i>
Kuituhamppu, silputtu <i>Hemprefine Oy</i>			Pajuhake <i>Carbons Finland Oy</i>
Osmankäämi, silputtu <i>Luke, Jokioinen, pelto-oja</i>			Kuiviketurve <i>Neova Oy (ent. Vapo Oy)</i>
Pellavanolki, silputtu <i>Biolin Oy</i>			
Rapsinolki, silputtu <i>Luke Jokioinen</i>			

¹⁾ Ei tehty ravinneanalyysejä eikä määritetty kuiva-ainepitoisuutta.

Tekstiilijakeista ainoastaan tekstiilibriketti oli mukana laboratoriotesteissä, joissa määritettiin kuiva-ainepitoisuus sekä kokonaistyyppi-, ammoniumtyyppi- ja fosforipitoisuudet. Se oli tavannaista, lajittelematonta jätetekstiiliä, joka oli briketöity. Kaksi muuta tekstiilipohjaista materiaalia olivat koneellisesti lajiteltua tekstiiliä, joista toinen oli 100 %:sta puuvillaa ja toinen puuvillan (65 %) ja polyesterin (35 %) seosta (Taulukko 2). Näistä määritettiin tilavuuspaino ja nesteenpidätyskyky, kun ne oli leikattu saksilla 1–2 cm:n kokoiseksi silpuksi. Tarkoituksena oli

nähdä, minkä verran polyesteri vähentää nesteepidätyskykyä puhtaaseen puuvillaan verrattuna. Tällä haettiin perusteita sille, pitääkö kuivikkeena käytettävän tekstiilibriketin olla pelkkää puuvillaa. Nesteepidätyskyvyn lisäksi tulee huomioida myös se, että muodostuva kuivikelanta saattaa päätyä peltoon, jolloin kuivikemateriaalin sisältäessä polyesteriä myös sitä tulee peltoon.

Nesteepidätyskyvyn perusteella toiseen vaiheeseen valittiin 10 materiaalia. Näistä määritettiin kaasujen vapautuminen sekä ravinteiden- ja hajunsitomiskyky. Lisäksi järviruo'osta, kuituhampusta, nollakuidusta, ruokohelpisilpusta, tekstiilibriketistä ja vehnäkuoresta tehtiin hygienia-analyysejä, joissa määritettiin *E. coli*n ja salmonellabakteerin pitoisuudet SeiLab Oy:n laboratoriossa (www.seilab.fi).

Muutamia materiaaleja pilotoitiin ja verrattiin turpeeseen käytännön olosuhteissa broilereilla (ruokohelpisilppu, järviruokosilppu, rahkasammal), hevosilla (ruokohelpipelletti, murukuivike, tekstiilibriketti) ja lihanaudoilla (ruokohelpisilppu). Nämä tulokset on esitetty eläinlajeittain erillisinä artikkeleina (Da Silva Viana ym. 2022, Manni ym. 2022, Saastamoinen ym. 2022).

1.2.3. Tilavuuspaino

Tilavuuspainojen määrittämisessä oli käytössä kaksi eri kokoista astiaa, koska silputtua tekstiilikangasta oli käytettävissä niin vähän, ettei määrittäystä voitu tehdä isommalla astialla. Astioiden tilavuus määritettiin täyttämällä ne vedellä, minkä jälkeen ne punnittiin. Tuloksesta vähennettiin tyhjän astian paino. Saatua veden painoa käytettiin mitta-astian tilavuutena. Suuremman astian tilavuus oli 2,4 litraa ja pienemmän 1,1 litraa.

Mitta-astia täytettiin koemateriaalilla mahdollisimman täyteen tiivistämättä materiaaleja. Täytövaiheessa mitta-astiaa ravistettiin ainoastaan kevyesti sen verran, että materiaalin pinta oli tasainen mitta-astian yläreunan kanssa. Kustakin koemateriaalista tehtiin kolme rinnakkaista tilavuuspainomäärittäystä ja tuloksena käytettiin niiden keskiarvoa.

1.2.4. Nesteepidätyskyky

Kuivikemateriaalien nesteepidätyskyky määritettiin puhtaalla vedellä. Sen oletetaan kuvaavan virtsan ja muiden nesteiden imeytymistä kuivikkeeseen.

Jokaista kuivikemateriaalia laitettiin sama tilavuus (yksi litra) vettä läpäisevään pussiin, ja pussi punnittiin. Tämän jälkeen koemateriaaleilla täytetyt pussit laitettiin jokainen omaan astiaansa, johon lisättiin seitsemän kilogrammaa (7 l) vettä. Kun pussit olivat vesiastiassa, varmistettiin vielä, että materiaalit pysyivät vedenpinnan alapuolella. Kuivikemateriaaleja liotettiin vedessä vuorokausi. Vuorokauden kuluttua näytepussit nostettiin astiasta ja vapaan veden annettiin valua 20 minuuttia ennen punnitusta. Myös pelkkä vettä läpäisevä pussi käsiteltiin samalla tavoin kuin kuivikemateriaaleja sisältäneet, jotta siihen pidättyneen veden määrä pystyttiin mittaamaan kuivikemateriaalien vedenpidätyskykyä laskettaessa.

Nesteepidätyskyky laskettiin vähentämällä kuivikemateriaalia sisältäneen pussin liotuksen ja valutuksen jälkeisestä painosta sen paino ennen liotusta, ja siitä edelleen vähennettiin tyhjänä liotetun ja valutetun pussin paino. Kustakin koemateriaalista tehtiin kolme rinnakkaista nesteepidätyskyvyn määrittäystä ja tuloksena käytettiin niiden keskiarvoa.

1.2.5. Koostumus

Kymmenestä kuivikemateriaalista sekä ravinteiden vapautumisen mittaamisessa käytetystä naudän lietelannasta määritettiin kuiva-aine, pH, kokonais- ja ammoniumtypen sekä fosforin pitoisuudet Luonnonvarakeskuksen (Luke) laboratorioissa Jokioisilla. Kaikki analyysit tehtiin tuoreista näytteistä.

Näytteiden kuiva-ainepitoisuus määritettiin lämpökaappikuivauksella 105 °C:ssa 20 tuntia (josta aluksi 50 °C noin 2 tuntia). Ammoniumtypen määrä mitattiin kuivikemateriaalista tehdystä vesiuutteesta (1:15) spektrofotometrisellä menetelmällä (UV-VIS double-beam UV-1800 spektrofotometri, Shimadzu Co., Kyoto, Japani). Vesiuutto tehtiin käyttäen 20 g näytettä ja 300 ml vettä (sekoitus 3×1,5 min tehosekoittimella Waring Blender laboratory mixer -tehosekoittimella (Waring Commercial, Stamford, USA), suodatus ja sentrifugointi).

Kokonaistypen määrä analysoitiin akkreditoidulla Kjeldahl-menetelmällä (sisäinen menetelmä Luke-JOK2002 Kjeldahl nitrogen, AOAC 984.13). Näytteen hajottamisen katalysaattorina käytettiin kuparia ja mittaukseen Foss Kjeltec 2400 Analyzer Unit -laitteistoa (Foss Tecator AB, Höganäs, Ruotsi). Koska kuivikemateriaalista on hankala saada homogeenista ja edustavaa pientä näytettä, isompi määrä näytettä esipoltettiin väkevässä rikkihapossa +60 °C:ssa yon yli.

Kokonaisfosforin määrittämiseksi näyte märkäpoltettiin HNO₃-H₂O₂-hajotuksella mikroaalto-uunissa (CEM Corporation, Matthews, Kanada) paineen alla. Saatu liuos analysoitiin iCAP 6500 DUO ICP-emission spectrometer -analysaattorilla (Thermo Scientific, Iso-Britannia) (Kalra 1998).

Näytteiden pH mitattiin samasta vesiuutteesta kuin ammoniumtyyppi Mettler Toledo 345 pH -mittarilla (Mettler-Toledo AG, Schwerzenbach, Sveitsi).

1.2.6. Ravinteiden pidättyminen

Ravinteiden pidätymistä lietelanta-kuivikeseokseen mitattiin nesteidenpidätyskyvyn perusteella valituilla 10 kuivikemateriaalilla ja vertailuna käytetyllä turpeella. Naudan lietelannasta ja kokeen päätyttyä kaikista lietelanta-kuivikeseoksista otettiin näytteet ravinneanalyysejä varten. Ravinneanalyyssit tehtiin kustakin kuivikemateriaalista kolmena kerranteena, joiden keskiarvoina tulokset esitetään. Tulosten perusteella laskettiin kokeen aikaiset muutokset lietelanta-kuivikeseosten massassa sekä ammonium- ja kokonaistypen ja kokonaisfosforin määrissä. Lähötötilanteen massa ja ravinnepitoisuudet laskettiin seoksessa käytettyjen kuivikemäärien ja kuivikkeista tehtyjen ravinneanalyyssien koostumuksen perusteella.

1.2.7. Kaasujen vapautuminen

Kaasujen vapautumista lietelanta-kuivikeseoksesta mitattiin nesteidenpidätyskyvyn perusteella valituilla 10 kuivikemateriaalilla ja turpeella. Kaasujen vapautumisen ajateltiin kuvaavan kuivikkeen kykyä pidättää sonnan ja virtsan vapauttavia sekä lannassa muodostuneita kaasuja.

Määrittystä varten kuivikemateriaalit sekoitettiin naudän lietelantaan, ja kaasujen vapautuminen (ppm) mitattiin kustakin liete-kuivikeseoksesta. Mitatut kaasut olivat ammoniakki (NH₃), metaani (CH₄), dityppioksidi (N₂O) ja hiilidioksidi (CO₂). Lanta oli peräisin Luken tutkimusnavetasta Jokioisilta.

Koe perustettiin laboratoriotilaan, jonka lämpötila säädettiin noin +20 °C:een. Lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mitattiin TinyTag -loggereilla, joita oli asetettu 5 kpl eri puolille tilaa. Mittaukset tehtiin kerran tunnissa. Samoista paikoista mitattiin myös Dräger Pac -loggereilla

sisäilman ammoniakkipitoisuutta, joka avoimien astioiden vuoksi olisi saattanut nousta tilassa olevien ihmisten terveyden kannalta liian korkeaksi. Kyseinen mittaus oli siten turvallisuustoinen menpide. Nämä mittaukset tehtiin 10 minuutin välein.

Kokeessa nimellistilavuudeltaan 30 litran koeastiat (ämpärit, halkaisija 0,335 m) täytettiin naudan lietelannan ja kuivikemateriaalin seoksella siten, että jokaiseen koeastiaan mitattiin 2,5 litraa kuivikemateriaalia ja 10 kg naudan lietelantaa (koeastian pinta-ala 0,0881 m²). Lietelanta ja kuivikkeet sekoitettiin hyvin ja seoksen annettiin seistä noin tunti ennen mittausten aloittamista. Koeastiat olivat avoimia ja ne suljettiin kannella ainoastaan mittausten ajaksi.

Kaasujen mittaus tehtiin fotoakustisella kaasuanalysointilaitteella (INNOVA 1412 Photoacoustic Field Gas Monitor + INNOVA 1309 Multipoint Sampler). Mittaukset tehtiin kustakin koeastiasta erikseen. Yhden mittauskerran pituus oli neljä minuuttia ja mittaus tapahtui 10 sekunnin välein. Mittausjakson pituus oli 10 vuorokautta (240 h). Ensimmäisen neljän päivän aikana kaasujen vapautumista mitattiin kaksi kertaa päivässä, ja kuuden viimeisen päivän aikana kerran päivässä. Kaasumittaukset tehtiin satunnaistettuina kolmena kerranteena. Lisäksi laskettiin kokeen aikana erittynyt kaasun määrä neliometriä kohden kertomalla mittauskerran kaasupäästö (ppm) kokeen keston mukaisella mittausjaksojen määrällä ja suhteuttamalla saatu tulos koeastian liete-kuivikeseoksen pinta-alaan. Tulos laskettiin eri mittauskerroilta edellä esitetyn mukaisesti saatujen mittaustulosten keskiarvona, g/m².

1.2.8. Hajunsitomiskyky

Kuivikkeiden hajunsitomismominaisuutta arvioitiin sekoittamalla kuivikemateriaalia naudan lietelantaan, joka oli peräisin yksityiseltä lypsykarjatilalta Sastamalasta. Naudan lietelannan ravinnepitoisuudet, kuiva-ainepitoisuus ja tilavuuspaino analysoitiin SeiLabin laboratorioissa Seinäjoella. Koe tehtiin kahden viikon jaksone suljetussa huonetilassa, jonka lämpötila oli keskimäärin 23,0 °C (vaihteluväli 16,8–25,7 °C) ja suhteellinen ilmankosteus oli keskimäärin 49,7 % (vaihteluväli 36,8–92,9 %). Lietelantaa sisältäneet astiat olivat betonilattian päällä, jonka lämpötila vaihteli 15,5–18,2 °C:n välillä.

Nimellistilavuudeltaan viiden litran kokoiset koeastiat täytettiin lietelannan ja kuivikkeen seoksella siten, että jokaiseen koeastiaan mitattiin 0,5 litraa kuivikemateriaalia ja 2 litraa lietelantaa (Kuva 1). Lietelanta-kuivikeseos sekoitettiin siten, että kaikki kuivike peittyi lietelannalla. Tämän jälkeen astioiden päälle laitettiin kansi. Seosten annettiin seistä noin yksi tunti ennen mittausten aloittamista. Koe tehtiin kolmena kerranteena ja tuloksena käytettiin niiden keskiarvoa.



Kuva 1. Kuivikemateriaalit koeastioissa (vasemmanpuoleinen kuva) ja satunnaistettuun järjestykseen asetetut kuivikelietelantaseokset (oikeanpuoleinen kuva). Kuvat: Maarit Hellstedt.

Kuivikelietelantaseoksista muodostuvaa hajua mitattiin kannettavalla olfaktometrillä (Nasal Ranger™) (Kuva 2). Olfaktometrillä saatava lukema kertoo, kuinka paljon haisevaa kaasua on laimennettu siinä vaiheessa, kun se ensimmäisen kerran tunnistetaan. Olfaktometrin lukema 2 tarkoittaa hajua, jonka useimmat juuri ja juuri tunnistavat. Mitä suurempi lukema on, sitä voimakkaampi on tutkittavasta materiaalista muodostuva hajua. Esimerkiksi lukema 30 tarkoittaa, että haisteltavassa seoksessa koeastiasta on 29 osaa puhdasta ilmaa ja yksi osa testattavaa hajua.



Kuva 2. Olfaktometri kiinnitettynä koeastian päälle asetettuun kanteen mittausta varten (vasemmanpuoleinen kuva) ja olfaktometrin mittakiekko, jossa eri hajun voimakkuuksia vastaavat laimennuskertoimet (oikeanpuoleinen kuva). Kuvat: Maarit Hellstedt.

Mittaukset tehtiin kannella suljetusta astiasta ensimmäisellä viikolla joka arkipäivä, ja toisella viikolla joka toinen päivä, eli yhteensä tehtiin kahdeksan mittausta. Hajua mitattiin yhdestä astiasta kerrallaan satunnaisessa järjestyksessä. Järjestys oli sama jokaisella mittauskerralla. Kaikki mittaukset teki sama henkilö. Hajun voimakkuudet seoksittain laskettiin kolmen mittauksen keskiarvona, joka pyöristettiin olfaktometrin mittakiekon lukemien mukaisiksi.

Mitatun hajupitoisuuden lisäksi arvioitiin subjektiivisesti hajun luonnetta, mikä kertoo sen ärsyttävyydestä. Hajua kuvaavina termeinä arvioinnissa käytettiin lietelanta (voimakkain), lanta, maatonut, puumainen ja heinämäinen (miedoin). Hajun voimakkuuden arvioinnit tehtiin kolmena kerranteena ja tulokset on esitetty näiden keskiarvoina. Yhteensä kustakin seoksesta saatiin 24 arviota.

1.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

1.3.1. Koostumus

Kuivikemateriaalien koostumustiedot on koottu Taulukkoon 3. Johtuen biohiilen epätyypillisen alhaisesta kuiva-ainepitoisuudesta (27 %), sen tuloksia ei ole raportoitu. Kuiva-ainepitoisuudet vaihtelivat 43–96 %:n välillä. Pienimmät kuiva-ainepitoisuudet olivat nollakuidulla ja turpeella. Turpeen kuiva-ainepitoisuus oli lähellä kuiviketurpeen tyyppillistä kuiva-ainepitoisuutta, joka vaihtelee yleensä 45–55 %:n välillä (Alasuutari ja Palva 2014). Nollakuitu oli poikkeuksellisen

kuivaa, mikä johtui sen pitkästä varastointiajasta sisällä säältä suojaan ja siitä, että kokeeseen oli tarkoitus ottaa nimenomaan kuivinta mahdollista ainesta. Normaalisti nollakuitu on huomattavasti kosteampaa, sen kuiva-ainepitoisuus on tyypillisesti alle 30 prosenttia (SoilFood Oy). Kaikkien muiden kuivikemateriaalien kuiva-ainepitoisuudet olivat yli 80 %.

Taulukko 3. Kuivikemateriaalien kuiva-aine- ja ravinnepitoisuudet sekä pH-arvo.

Kuivikemateriaali	Kuiva-aine, %	Ammoniumtyppi, g/kg	Kokonaisytyppi, g/kg	Fosfori, g/kg	pH
Hevoshelppi (ruokohelppi)	86	0,37	6,87	0,92	6,24
Järviruoko	85	0,21	5,84	0,52	5,05
Kaurankuori	90	0,02	6,34	0,91	7,00
Kuituhamppu	90	0,01	3,68	0,56	5,46
Murukuivike (kutterinlastu)	90	0,01	0,51	0,05	5,56
Nollakuitu	43	0,00	0,18	0,06	9,09
Osmankäämi	85	0,04	4,93	0,87	6,97
Pajuhake	80	0,03	3,11	0,73	5,76
Pellavanolki	86	0,07	5,99	0,71	6,69
Purupelletti (kutterinpuru)	91	0,01	0,74	0,02	4,80
Rapsinolki	89	0,11	7,33	1,32	6,61
Ruokohelpipelletti	90	0,06	6,87	1,26	5,48
Ruokohelpisilppu	83	0,44	8,59	1,14	5,65
Tekstiilibriketti	96	0,02	0,98	0,05	7,00
Turve	59	0,04	5,15	0,16	3,98
Vehnänkuori	89	0,04	25,25	12,00	6,83

Typpi- ja fosforipitoisuudet olivat kaikilla kuivikemateriaaleilla pieniä, vaikkakin vaihtelu materiaalien välillä oli suurta. Kokonaistyypipitoisuus vaihteli välillä 0,18–25,25 g/kg ja kokonaisfosforipitoisuus 0,02–12,00 g/kg. Suurimmat pitoisuudet olivat korsipohjaisilla materiaaleilla, viljankuorilla ja pajulla ja pienimmät tekstiilibriketillä ja puupohjaisilla materiaaleilla. Osmankäämin muihin verrattuna suurehko pitoisuus voi johtua sen keruupaikasta, joka oli viljellyn pellon oja. Ammoniumtyypin pitoisuudet olivat alhaisia vaihdellen välillä 0–0,44 g/kg. Selkeästi muita korkeammat ammoniumtyypipitoisuudet olivat ruokohelpisilpulla ja ruokohelvestä tehdyllä hevoshelvellä.

Kuivikemateriaalien pH-arvot vaihtelivat välillä 3,98–9,09. Turve on tunnetusti hapan materiaali, mihin perustuvat sen hyvät kuivikeominaisuudet, kuten hygieeninen laatu ja haitallisten mikrobin kasvun ehkäiseminen sekä pieni vapautuneen ammoniakin määrä.

Järviruosta, kuituhampusta, nollakuidusta, ruokohelpisilpusta, tekstiilibriketistä ja vehnänkuoresta määritettiin *E. coli* ja salmonellabakteerit. Tulos oli negatiivinen eli näitä ei löytynyt (tulos <10 pmy/g).

1.3.2. Tilavuuspaino

Kuivikemateriaalien tilavuuspainot erosivat toisistaan merkittävästi vaihdellen välillä 30–626 kg/m³ (Taulukko 4). Painavimpia materiaaleja olivat purupelletti, ruokohelpipelletti ja murukuivike, mikä johtui niiden prosessoinnista ja valmistusmenetelmästä. Kevyintä olivat kuivat ja irtonaiset pellavanolki ja osmankäämi.

Taulukko 4. Kuivikemateriaalien tilavuuspainot, kuiva-ainepitoisuus ja nesteenpidätyskyky.

Koemateriaali	Tilavuuspaino, kg/m ³	Kuiva-aine, %	Nesteenpidätys, kg vettä/kg koemateriaalia	Nesteenpidätys, kg vettä/m ³ koemateriaalia	Nesteenpidätys, kg vettä/kg koemateriaalin kuiva-ainetta
Hevoshelpi (ruokohelpi)	76	86	3,9	292	4,5
Järviruoko	101	85	2,8	281	3,3
Kaurankuori	175	90	1,2	203	1,3
Kuituhamppu	125	90	3,7	465	4,1
Murukuivike (kutterinlastu)	519	90	2,5	1276	2,7
Nollakuitu	301	43	1,5	457	3,6
Osmankäämi	39	85	3,1	120	3,6
Pajuhake	190	80	1,1	199	1,3
Pellavanolki	30	86	1,9	57	2,2
Purupelletti (kutterinpuru)	626	91	2,9	1827	3,2
Rapsinolki	60	89	3,3	200	3,8
Ruokohelpisilppu	141	83	4,3	600	5,1
Ruokohelppelletti	604	90	2,5	1497	2,7
Tekstiilibriketti	350	96	3,3	1163	3,4
Tekstiilipuuvilla ¹⁾	78	-	2,2	168	-
Tekstiiliseos ¹⁾	103	-	1,4	146	-
Turve	150	59	3,6	533	6,1
Vehnänkuori	301	89	2,4	709	2,7

¹⁾ Ei määritetty kuiva-ainetta.

Tilavuuspaino vaikuttaa kuivikkeen kuljetus- ja varastotilan tarpeeseen, mikä tulee ottaa huomioon arvioitaessa tarvittavia kuivikkeen määriä. Huomioitavaa kuitenkin on, että Taulukossa 4 esitetyt tilavuuspainot on mitattu niin, että materiaalia ei ole tiivistetty. Siten se ei vastaa kyseisten materiaalien tiivistettyjä varasto- ja kuljetustilavuuspainoja. Painavat kuivikkeet ovat myös raskaita käsitellä, kuten on todettu aiemmin mm. Luken hevostuotteen vertailussa ja kokeiluissa, joissa esimerkiksi olkipelletti on koettu raskaaksi käsitellä etenkin patjan perustamisvaiheessa (julkaisemattomia tuloksia). Tämän hankkeen hevosten kuivikevertailussa tekstiilibriketti todettiin painavaksi käsitellä tallissa. Työtavoissa ja kuivikkeiden käsittelyssä on kuitenkin paljon eroja käyttäjien välillä. Mikäli kuivikkeiden käsittely ja kuivitus on mahdollista hoitaa koneellisesti, se lisää painavien kuivikkeiden käyttömahdollisuuksia.

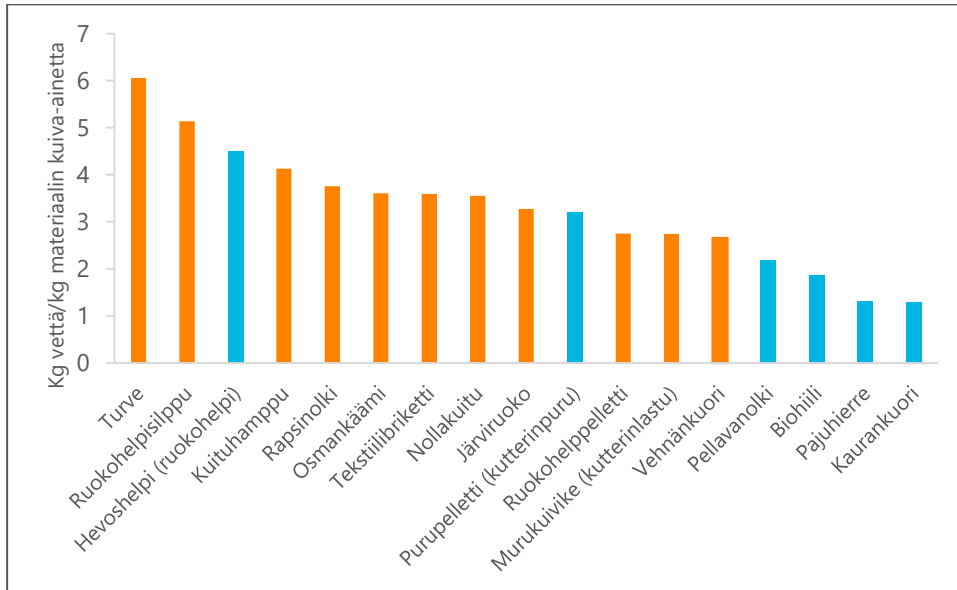
1.3.3. Nesteenpidätyskyky

Nesteenpidätyskyky on kuivikemateriaalien tärkeimpiä ominaisuuksia, koska kuivittamisessa on kysymys ensisijaisesti eläimen makuualustan kuivuudesta, puhtaudesta ja lämmöstä. Näillä on merkittävä vaikutus eläinten viihtyvyyteen ja hyvinvointiin. Esimerkiksi hevosilla ja naudoilla tehdyissä tutkimuksissa eläinten on todettu tekevän valintoja eri kuivikkeiden välillä (Hunter & Hout 1991, Pedersen ym. 2004, Pengtao ym. 2021, Tuomisto ym. 2021). Märkyys lisää myös makuualustan hygieenisten haittojen riskiä, mikä vaikuttaa eläimen terveyteen ja lopputuotteiden hygieeniseen laatuun. Nesteenpidätyskyky kuvaa kuivikkeen kykyä sitoa virtsaa ja eläinsuojaan tullutta vettä ja kosteutta. Näiden pidättymisominaisuudet voivat olla erilaiset, mutta tärkeää on joka tapauksessa kuivikkeessa olevan imeytymispinnan määrä ja nesteiden hylkimättömyys (hylkimätön rakenne). Tässä kokeessa mitattiin ainoastaan kuivikemateriaalien kykyä pidättää vettä, mikä eroaa virtsan pidättämiskyvystä. Tästä esimerkkinä turve, joka sitoo enemmän virtsaa kuin vettä, mutta olki ja puupohjaiset (sahanpuru, kutteri) materiaalit sitovat virtsaa saman verran tai hiukan vähemmän kuin vettä (Peltola 1984). Nesteiden pidättymiseen vaikuttaa luonnollisesti myös kuivikkeen kosteus.

Kyseessä olevassa vertailussa kuivikemateriaalien nesteenpidätyskyky laskettiin kilogrammaa tuoretta (ilmakuivaa) koemateriaalia kohti, kilogrammaa koemateriaalin kuiva-ainetta kohti ja koemateriaalikuutiota (tilavuuspainoa) kohti (Taulukko 4). Nesteenpidätyskyky vaihteli välillä 1,1–4,3 kg vettä/kg tuoretta kuivikemateriaalia. Kilo ruokohelpisilppua pidatti eniten vettä ja pajuhake vähiten. Turpeen nesteenpidättämiskyky vastasi aiempia tuloksia (Peltola 1984, Nurmisto 1985). Murukuivike ja purupelletti asettuvat nesteennpidätyskyvyssä aiemmissä tutkimuksissa saatujen tulosten mukaan kutterinlastun ja sahanpurun välille, ja esimerkiksi osman-käämi ja rapsinolki lähelle silputtua olkea (Peltola 1984). Hevosten kuiviketutkimuksissa turpeen on todettu pidättävän paremmin vettä kuin oljen ja puupohjaisten kuivikkeiden (Airaksinen ym. 2001, Keskinen ym. 2017). Tässä hankkeessa hevosilla tehdyssä kokeessa murukuivikkeen kuivikeominaisuudet todettiin hyviksi, ja sen käyttömäärät olivat samat kuin turpeen, vaikka nesteenpidätyskyky oli turvetta huonompi. Tekstiilibriketin imukykyä pidettiin huonona.

Kuiva-ainekiloa kohti nesteenpidätyskyky vaihteli välillä 1,3–6,1 kg vettä/kg kuiva-ainetta. Kuiva-ainekiloa kohti turve sitoi parhaiten vettä ja kaurankuori huonoiten. Tilavuuspainoon suhteutettu nesteenpidätyskyky vaihteli välillä 57–1827 kg/m³. Eniten vettä sitoi purupelletti ja vähiten pellavanolki. Nämä erot johtuivat todennäköisesti kuivikemateriaalien toisistaan hyvin poikkeavasta rakenteesta ja imeytymispinnan määrästä.

Nesteenpidätyskyvyn (kg vettä/kg materiaalin kuiva-ainetta) perusteella valittiin kaasujen ja ravinteiden vapautumisen ja hajun muodostumisen mittauksiin kymmenen koemateriaalia (Kuva 3). Parhaiten vettä kuiva-ainekiloa kohti sitoneista materiaalista jätettiin pois hevoshelpi ja purupelletti. Hevoshelpi jätettiin pois, koska valmistajalta saadun tiedon mukaan siinä oli ruokohelven lisäksi hienoa jaetta, joka oli muuta kuin ruokohelpeä. Purupelletti jätettiin pois, koska kutteri, josta se oli valmistettu, on jo entuudestaan pitkään käytetty kuivike. Hankkeen tavoitteena oli löytää erityisesti uusia kuivikemateriaaleja. Murukuivike, vaikka sekin oli kutteripohjainen, oli rakenteeltaan uuden tyyppinen prosessoitu kuivike, josta ei ollut aikaisempia tutkimustuloksia, ja siksi se valittiin edellä mainittujen ominaisuuksien mittauksiin mukaan.



Kuva 3. Nesteenpidätyskyky (kg vettä/kg materiaalin kuiva-ainetta) ja sen perusteella jatko-analyysiin valitut kuivikemateriaalit (oranssiset pylväät).

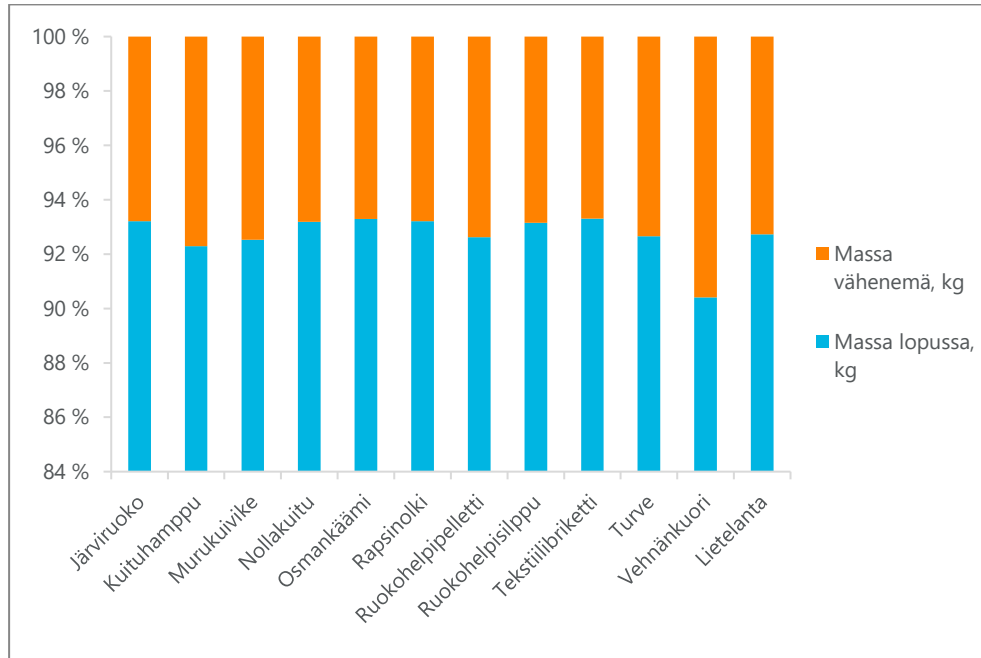
1.3.4. Ravinteiden pidättyminen

Ravinteiden pidättymiskyvyn määrittämiseksi analysoitiin naudan lietelannasta ja lietelanta-kuivikeseoksista ammonium- ja kokonaistyyppi- sekä fosforipitoisuudet kymmenelle valitulle kuivikemateriaalille (Taulukko 5). Taulukossa on esitetty myös kuiva-ainepitoisuudet ja pH-arvot.

Taulukko 5. Naudan lietelannan sekä kuivikemateriaalien ja naudan lietelannan seosten kuiva-aine-, ammonium- ja kokonaistyyppi- ja fosforipitoisuudet sekä pH-arvot.

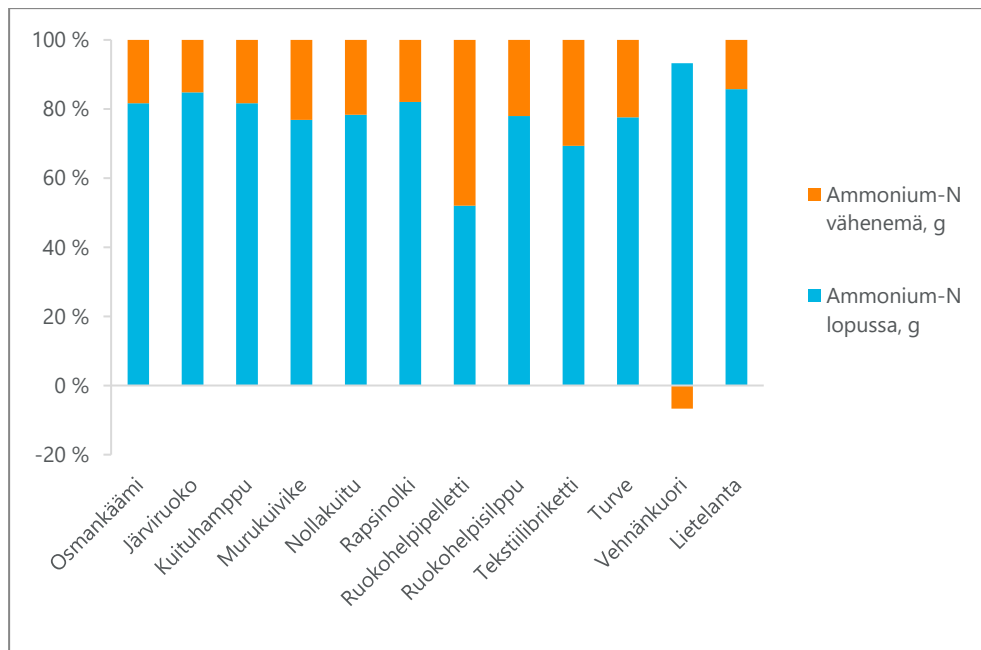
Kuivikemateriaali	Kuiva-aine, %	Ammoniumtyppi, g/kg	Kokonaistyyppi, g/kg	Fosfori, g/kg	pH
Naudan lietelanta, alku	6,2	1,06	2,55	0,53	8,48
Naudan lietelanta, loppu	6,9	0,98	2,64	0,57	8,39
Järviruoko	9	0,95	2,48	0,57	8,24
Kuituhamppu	9	0,91	2,55	0,54	8,10
Murukuivike	17	0,78	2,22	0,53	8,40
Nollakuitu	10	0,84	2,29	0,50	7,79
Osmankäämi	8	0,92	2,41	0,53	8,16
Rapsinolki	8	0,92	2,58	0,60	7,97
Ruokohelppelletti	18	0,52	3,22	0,65	8,71
Ruokohelpisilppu	10	0,87	2,76	0,57	7,97
Tekstiilibriketti	14	0,73	2,32	0,48	8,33
Turve	9	0,86	2,56	0,50	7,96
Vehnänkuori	12	1,18	4,27	1,55	6,14

Kuvissa 4–7 on esitetty muutokset massassa sekä ammoniumtypen, kokonaistypen ja fosforin määrissä eri kuivike-lietelantaseoksissa. Avoimissa astioissa olleiden seosten paino väheni kokeen aikana 0,68–1,03 kg eli 7–10 % (Kuva 4). Eniten massa väheni vehnäkuorella ja vähiten osmankäämillä ja tekstiilibriketillä.



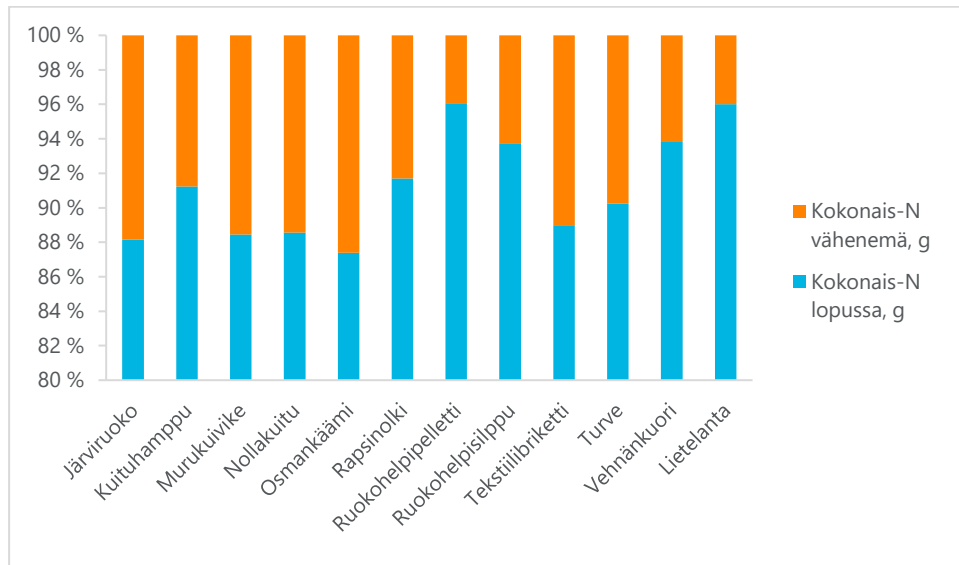
Kuva 4. Massan muutokset eri kuivikemateriaaleilla.

Ammoniumtypen määrä väheni 1,62–5,13 g (15–48 %) (Kuva 5). Muista seoksista poiketen vehnäkuorella ammoniumtypen määrä lisääntyi 0,83 g. Tämä saattoi johtua vehnäkuoren hyvin suuresta kokonaistyyppimäärästä, josta osa on saattanut seoksessa hajota ammoniumtypeksi. Pienin vähenemä oli järviruokolla ja suurin ruokohelpipelletillä.



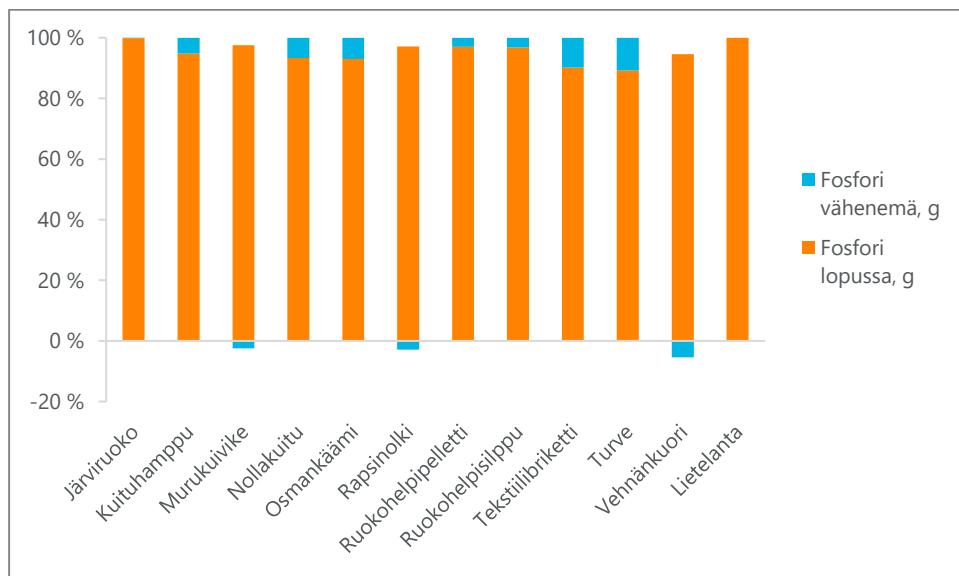
Kuva 5. Ammoniumtypen määrän muutokset eri kuivikemateriaaleilla.

Kokonaistypen määrä aleni 1,41–3,27 g eli 4–13 % (Kuva 6). Pienin vähenemä oli ruokohelpi-pelletillä ja suurin osmankäämillä.



Kuva 6. Kokonaistypen määrän muutokset eri kuivikemateriaaleilla.

Fosforipitoisuuksissa tapahtuneet muutokset olivat epätyypillisiä, sillä muutoksia fosforissa ei pitäisi juuri ilmetä, eikä pitoisuuden pitäisi ainakaan lisääntyä (Kuva 7). Syytä näihin poikkeaviin tuloksiin ei saatu selville. Toisaalta varsinkin vehnänkuoressa oli hyvin suuri P-pitoisuus. Myös rapsinoljessa se oli suurempi kuin materiaaleissa tai sivuvirroissa, jotka eivät olleet peltoviljeltyjä (Taulukko 4).

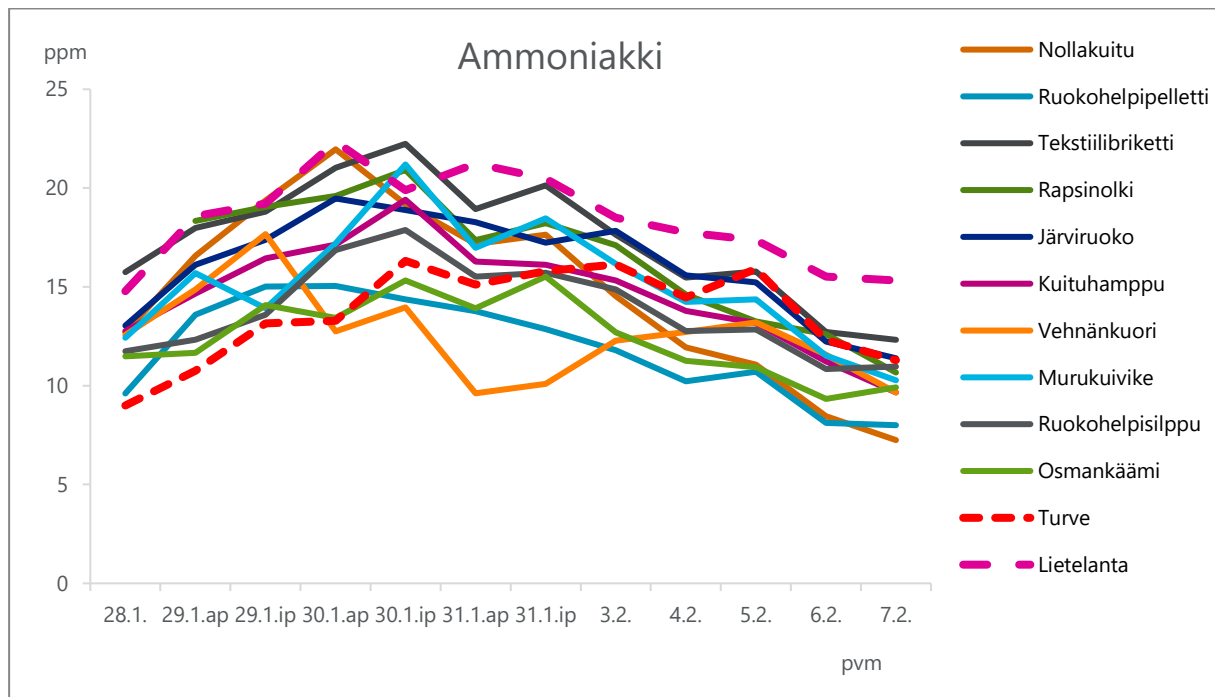


Kuva 7. Fosforipitoisuuden muutokset eri kuivikemateriaaleilla.

Verrattaessa hevosten kuivikelantoja puupohjaiset kuivikkeet pidättivät huomattavasti huonommin typpeä kuin turve ja olkipelletti, mutta fosforin pidättymisessä kuivikkeeseen ei havaittu eroja kuivikkeiden välillä (Keskinen ym. 2017). Ruotsalaisessa tutkimuksessa turpeen todettiin sitovan hevosten jaloittelutarhoissa valumaveden fosforia ja typpeä, ja myös kutterinpuru sitoi fosforia (Parvage ym. 2016).

1.3.5. Kaasujen vapautuminen

Kaikista seoksista vapautuneen ammoniakkin määrä oli pienempi kuin pelkästä lietelannasta vapautunut, joten kaikkien kuivikemateriaalien voidaan päätellä vähentävän ammoniakkikaasun vapautumista eli sitovan ammoniakkia (Kuva 8). Kymmenen vuorokauden mittausjaksolla erot seosten välillä eivät olleet keskimäärin kovin suuria (Taulukko 6). Vähiten ammoniakkia vapautui lietelannan ja ruokohelpipelletin, osmankäämin, turpeen ja vehnäkuoren seoksista, joiden keskinäiset erot olivat pieniä.



Kuva 8. Ammoniakin vapautuminen eri liete-kuivikeseoksista ja lietteestä.

Taulukko 6. Kaasujen vapautuminen (ppm) liete-kuivikeseoksista 10 vrk:n kestoista mittauksista yhteensä. Sinisellä merkittynä kunkin kaasun pienin ja oranssilla suurin määrä seoksissa.

Kuivikemateriaali	NH ₃	CH ₄	CO ₂	N ₂ O
Järviruoko	188,9	101,8	7656	3,97
Kuituhamppu	172,6	217,6	8179	4,01
Murukuivike	178,8	150,6	8192	4,43
Nollakuitu	172,2	557,2	8494	4,16
Osmankäämi	146,4	284,8	7387	4,54
Rapsinolki	192,1	218,4	8219	3,98
Ruokohelpipelletti	140,8	381,7	11717	3,86
Ruokohelpisilppu	162,7	132,5	7833	4,33
Tekstiilibriketti	204,7	112,9	7821	3,97
Vehnänkuori	148,0	477,2	15814	4,46
Turve	162,6	148,8	8097	3,92
Lietelanta	216,6	209,8	7642	3,74

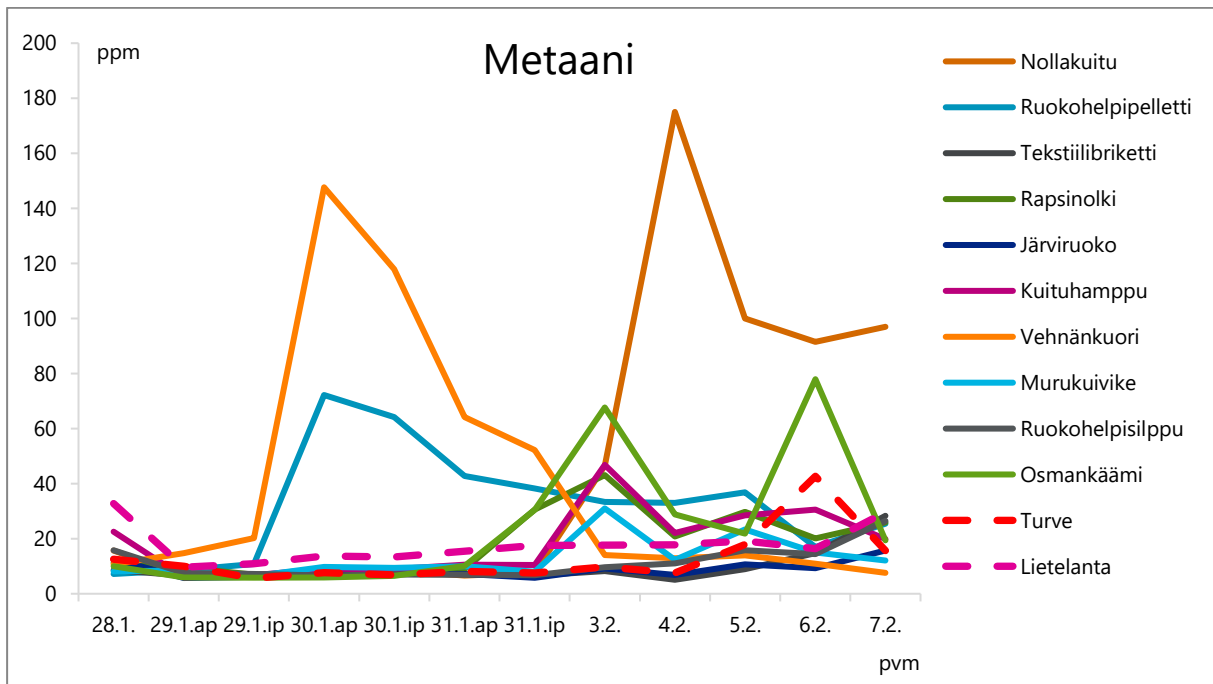
Turve esti ammoniakkin vapautumista seoksesta eniten kahden ensimmäisen koepäivän aikana, mikä johtui todennäköisesti sen happamuudesta verrattuna muihin kuivikkeisiin. Toisesta päivästä eteenpäin vehnänkuoren, ruokohelpipelletin ja osmankäämin kyky estää ammoniakkin vapautumista osoittautui turvetta paremmaksi. Toisella koeviikolla myös nollakuitu, ruokohelpisilppu, kuituhamppu, rapsinolki ja murukuivike vähensivät ammoniakkin vapautumista turvetta tehokkaammin, eli kuivikkeiden erot tasoittuivat mittausjakson loppua kohti. Ruokohelpipelletin ja murukuivikkeen tekstiilibrikettiä parempi kyky estää ammoniakkin vapautumista havaittiin aistinvaraisesti myös hevosilla tehdyssä käytännön kokeessa.

Kyky estää ammoniakkin vapautumista on hyvän kuivikkeen tärkeä ominaisuus. Nämä tulokset eivät välttämättä kuvaa ammoniakkin pidättämiskykyä tai ammoniakkin vapautumisen vähene mistä eläintilassa muutoin kuin, että useimmat kuivikkeet estävät ammoniakkin vapautumista pidättämällä virtsaa melko hyvin, kunnes ne "kyllästyvät" ja tilannetta parannetaan kuivikkeen vaihdolla ja lisäyksellä. Tulokset kuvannevat paremmin mahdollisia typpitappioita varastoinnin aikana. Ammoniakkia ja typen kaasuja vapautuu esim. kananlannasta lämpötilan noustessa yli +20 °C:een (Pratt ym. 2002).

Useissa tutkimuksissa puupohjaisten kuivikkeiden kyky estää ammoniakkin vapautumista eläimen makuualustasta (pehkusta) on ollut huono (Garlipp ym. 2011, Flemming 2008a,b, Borhan ym. 2014, Saastamoinen ym. 2015). Turpeen on todettu olevan puupohjaisia materiaaleja parempi kuivikemateriaali vähäisemmän talli-ilmaan vapautuneen ammoniakkin määrän osalta (Saastamoinen ym. 2015).

Metaanin vapautuminen eri kuivikemateriaaleja käytettäessä on esitetty Kuvassa 9. Metaania vapautui vähiten 10 vuorokauden aikana lietesekoituksista, joissa seosmateriaalina oli joko järviruoko, tekstiilibriketti, ruokohelpisilppu, murukuivike tai turve (Taulukko 6). Eniten metaania vapautui seoksista, joissa koemateriaaleina oli nollakuitu ja vehnänkuori. Kaikilla seoksilla vapautuneen metaanin määrä oli pieni ensimmäisen vuorokauden aikana. Toisen vuorokauden kohdalla metaanimäärät nousivat liete-vehnänkuori- ja liete-ruokohelpipellettiseoksella

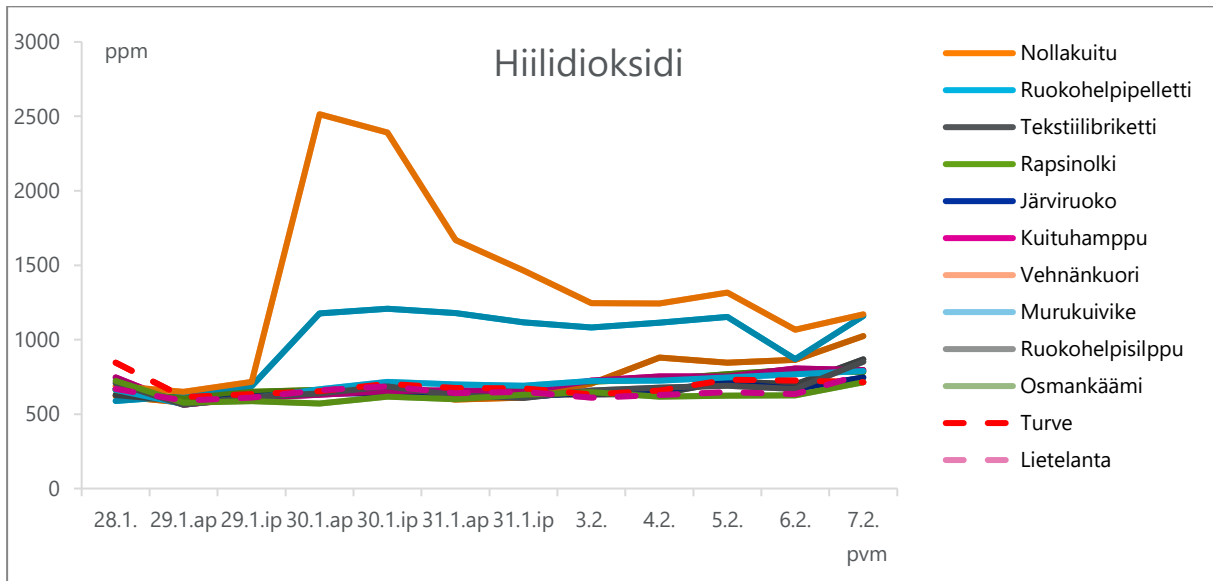
selvästi suuremmiksi muihin kuivikemateriaaleihin verrattuna, joilla pitoisuudet pysyivät pelkän lietelannan pitoisuuksia pienempinä. Metaanin muodostumista tapahtuu anaerobisissa olosuhteissa ilman happea. Oljen ja vehnäkuoren mikrobiin aktiivisuus lannassa saattoi olla parin ensimmäisen vuorokauden aikana voimakasta. Tässä tutkimuksessa ei mitattu mikrobien aktiivisuutta tai seoksen lämpötilaa, mutta esim. Garlipp ym. (2011) totesivat hevosen olkilantapattajassa voimakkaan mikrobitoiminnan alkavan jo 1–2 päivän aikana ja tuottavan metaania. Toisen viikon alussa vehnäkuoriseoksesta vapautunut metaanin määrä laski lietelannan pitoisuutta pienemmäksi.



Kuva 9. Metaanin vapautuminen eri liete-kuivikeseoksista ja lietteestä.

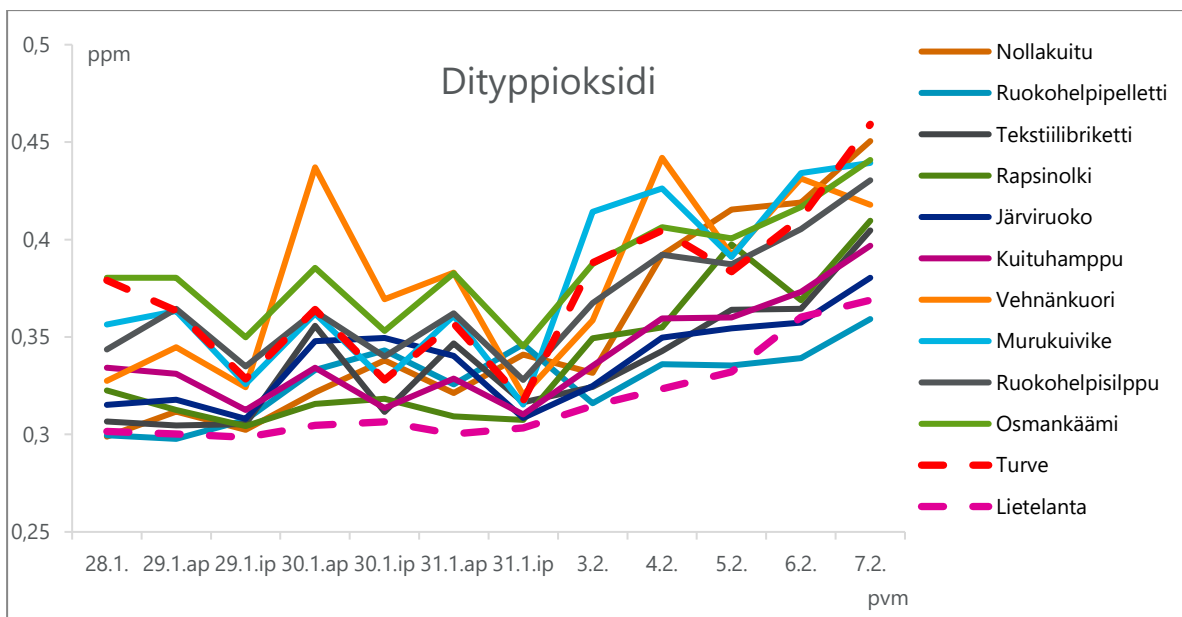
Metaanin muodostuminen lannasta on vähäistä, jos käytetään metaania tuottamattomia kuivikeaineita kuten puuainesta (Kusch ym. 2008, Wartell ym. 2012, Mönch-Tegeder ym. 2013, Böske ym. 2014, Tampio ym. 2014). Järviruoko, ruokohelpisilpun, tekstiilibriketin ja turpeen lietesekoituksen metaanipitoisuudet olivat lietelantaa pienemmät koko mittausjakson ajan. Tästä poikkeuksena oli turve, jolla metaanipitoisuus oli toiseksi viimeisellä mittauskerralla lietelantaa suurempi. Murukuivikkeen pitoisuudet pysyivät samalla tasolla kuin lietelannasta mitattut. Erityisesti nollakuidulla, mutta myös kuituhampulla, osmankäämillä ja ruokohelpipelletillä metaanipitoisuudet olivat mittausjakson loppupuolella lietelannasta mitattuja pitoisuuksia suuremmat.

Hiilidioksidia eri koemateriaalien ja lietelannan seoksista vapautui lähes yhtä paljon lukuun ottamatta vehnäkuorta ja ruokohelpipellettiä, joilla vapautuminen lisääntyi selkeästi ensimmäisen vuorokauden jälkeen (Kuva 10).



Kuva 10. Hiilidioksidin vapautuminen eri liete-kuivikeseoksista ja lietteestä.

Dityppioksidin pitoisuuksissa 10 vuorokauden aikana ei ollut suuria eroja seosten välillä (Taulukko 6). Pitoisuudet olivat ensimmäisen viikon aamupäivämittauksissa lähes kaikilla materiaaleilla korkeampia kuin iltapäivämittauksissa, mikä saattoi johtua siitä, että astioihin muodostunut kaasukerros sekoittui aamun mittauksessa, eikä kaasua mittausten välisen lyhyen seisonta-ajan aikana enää ehtinyt muodostua saavin pintaan vastaavaa määrää. Dityppioksidin pitoisuudet nousivat kaikilla materiaaleilla koko mittausjakson ajan ja olivat korkeimmat koejakson päättyessä (Kuva 11). Ainoastaan ruokohelpipelletillä pitoisuus oli mittauksen päättyessä lietalantaa pienempi, kaikilla muilla koemateriaaleilla suurempi. Maljanen ym. (2016) totesivat myös N₂O haihtumisen lisääntyvän lannassa ajan myötä. Puupohjaisilla lantaseoksilla on havaittu vapautuvan vähemmän dityppioksidia kuin olkilannoilla (Garlipp ym. 2011).



Kuva 11. Dityppioksidin vapautuminen eri liete-kuivikeseoksilla.

Metaania muodostuu anaerobisissa olosuhteissa, mutta hiilidioksidia ja typen kaasuja syntyy hapen läsnä ollessa. Osa vapautuneista kaasuista voi olla peräisin seosten materiaalien (typpi,

hiili) hajoamisesta sekä kuivikemateriaalien sisältämistä typeistä ja hiilestä. Materiaalien hiilipitoisuuksia ei tässä kokeessa mitattu, mutta typpipitoisuuksissa oli materiaalien välillä selviä eroja. Materiaalien erilaisuus (puupohjaiset, korsimateriaalit, kuorijakeet) viittaa myös siihen, että niiden mahdollinen hajoaminen mittausjakson aikana oli erilaista (esim. Garlipp 2011). Borhan ym. (2014) eivät kuitenkaan todenneet kasvihuonekaasujen vapautumisessa eroja hevoslannasta pellavasilpun ja kutterin välillä.

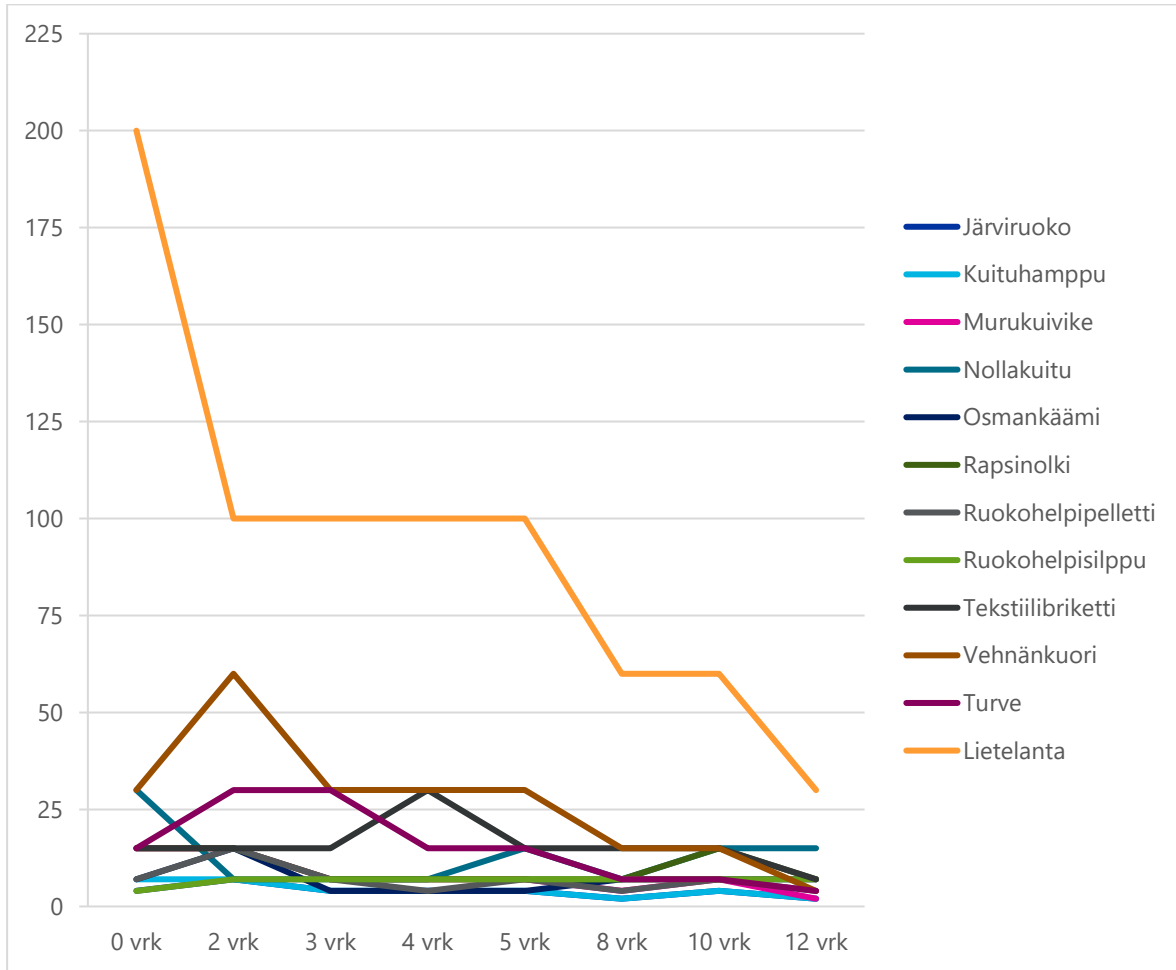
Sovellettaessa tämän laboratoriokokeen tuloksia käytännön tilanteeseen eläinsuojassa on huomattava, että monet eri tekijät vaikuttavat kaasujen vapautumiseen lannasta. Näitä ovat mm. virtsan määrä, eläinsuojan ja ulkoilman olosuhteet (lämpötila, kosteus), ilmastointi sekä eläinten käyttäytyminen ja liikkuminen. Toisaalta lannan varastoinnin aikana voidaan menettää osa lannan biokaasu- ja ravinnepotentiaalista myös kaasujen vapautumisen vuoksi, mikä lisää ilmastomuutosta ja aiheuttaa ympäristöhaittoja (Mönch-Tegeder ym. 2013, Maljanen ym. 2016). Tämän estämiseksi on lantavarastot katettava tai lantakasa peitettävä. Varastossa vapautuneiden kaasujen haihtumisnopeuteen vaikuttaa mm. varastointiaika. Metaania ja muita kasvihuonekaasuja voidaan ottaa talteen biokaasun tuotannossa ja lisäksi tällaisessa suljetussa prosessissa voidaan pienentää ympäristön typpikuormitusta.

1.3.6. Hajunsitominen

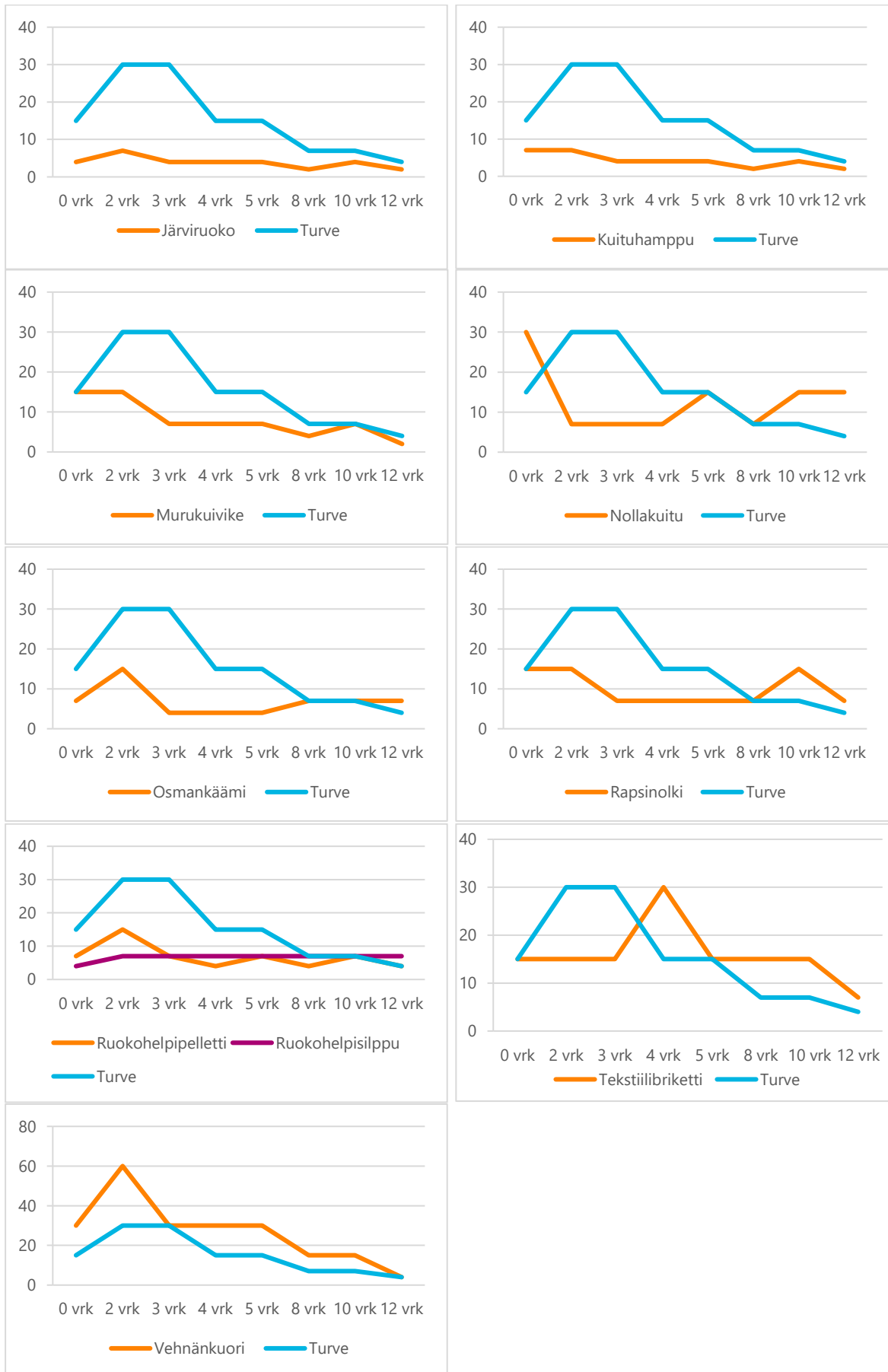
Hajunmittauksissa käytettiin eri lietelantaa kuin kaasujen ja ravinteiden vapautumisen mittaauksissa. Tämän lietteen koostumus on esitetty Taulukossa 7. Olfaktometrillä tehtyjen mittausten perusteella kaikki liete-kuivikeseoksissa käytetyt kuivikkeet vähensivät lietteen hajua verrattuna pelkästä lietelannasta mitattuun (Kuva 12). Eniten hajua vähensivät kuivikkeena käytetyt kuituhamppu ja järviruoko, joista mitatut hajupitoisuudet olivat selkeästi turvekuivikkeesta mitattuja alempia (Kuva 13). Myös ruokohelpipelletti ja –silppu sekä murukuivike, osmankäämi ja rapsinolki vähensivät hajua turvekuiviketta enemmän. Nollakuidun ja tekstiilibrikin vaikutus hajuun vaihteli. Vehnänkuori vähensi hajua koko kokeen ajan vähemmän kuin kuiviketurve.

Taulukko 7. Hajunsidontaominaisuuden arvioinnissa käytetyn naudnan lietelannan ravintoainepitoisuudet, kuiva-ainepitoisuus ja tilavuuspaino.

Ominaisuus	Analyysitulokset
Kokonaistyyppi, kg/tonni	3,0
Liukoinen typpi, kg/tonni	2,0
Fosfori, kg/tonni	0,34
Kalium, kg/tonni	2,4
Tilavuuspaino, kg/m ³	1000
Kuiva-aine, %	4,1



Kuva 12. Kuivikemateriaalien vaikutus hajuu verrattuna pelkkään lietelantaan koejakson aikana. Y-akselilla olfaktometrin lukemat.



Kuva 13. Hajun vähentyminen kuiviketurpeeseen verrattuna. Y-akselilla olfaktometrin lukemat.

Subjektiiivisessa arvioinnissa hajun laatua kuvattiin termeillä lietelanta (voimakkain/ärsyttävin), lanta, maaton ja puumainen sekä heinämäinen (miedoin). Taulukossa 8 on esitetty liete-kuivikeseosten jakaantuminen (%) eri luokkiin ja hajupisteiden painotetut keskiarvot seoksille, kun luokille annettiin pisteet 1–5 (heinämäinen – liete). Kaikilla kuivikemateriaaleilla haju koettiin vähemmän ärsyttäväksi kuin turvekuivikkeella. Hajuluonnehdintojen perusteella vähiten ärsyttävä haju muodostui, kun seoksessa kuivikkeena oli ruokohelpsilppu, kuituhamppu tai ruokohelpipelletti. Myös järviruo'on haju oli keskimääräistä vähemmän ärsyttävä. Eniten epämiellyttävää lietelannan ja lannan hajua havaittiin, kun kuivikemateriaalina oli vehnäkuori, tekstiilibriketti, nollakuitu, osmankäämi tai rapsinolki. Maatuneen haju lisääntyi kaikissa seoksissa 3–4 vrk:n jälkeen, jolloin seoksissa mikrobitointi oli jo käynnissä.

Taulukko 8. Hajuhavaintojen jakaantuminen (%) hajua kuvaaviin luokkiin ja "hajupisteiden" (1–5) painotetut keskiarvot (N=24 kussakin luokassa).

Luokka (hajupisteet)	1 Heinämäinen	2 Puumainen	3 Maaton	4 Lantainen	5 Liete	Keskiarvo
Järviruoko	54	-	30	8	8	2,67
Kuituhamppu	50	-	42	4	4	2,13
Murukuivike	-	3	66	17	4	3,13
Nollakuitu	-	-	42	29	29	3,88
Osmankäämi	-	-	20	63	17	3,96
Rapsinolki	-	-	20	67	13	3,92
Ruokohelpipelletti	42	-	38	20	-	2,38
Ruokohelpsilppu	38	-	38	8	16	2,67
Tekstiilibriketti	-	-	25	59	16	3,92
Turve	-	-	13	67	20	4,08
Vehnäkuori	-	-	70	17	13	3,42

Hajut ovat haitta eläinyksikön naapurustolle, läheisten alueiden käyttäjille. Myös eläinsuojan sisäilman laatu eläinten ja siellä työskentelevien ihmisten kannalta on merkittävä asia, koska hajua muodostavat kaasut voivat olla haitallisia ihmisten ja eläinten terveydelle. Lantakaasuja ja niiden hajua poistetaan eläintilasta ilmanvaihdolla, jota voidaan vielä tehostaa eläintilan ilmanvaihdolla.

1.4. Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa verrattiin toisistaan poikkeavien materiaalien ominaisuuksia, jotka vaikuttavat niiden kuivikeominaisuuksiin. Osa materiaaleista oli maatalouden tai teollisuuden sivutuotteita ja osa jo lähtökohtaisesti kuivikkeeksi tuotettuja, eikä niitä siksi tutkimuksen tulosten perusteella voida asettaa järjestykseen kuivikeominaisuuksiensa suhteen. Osa kuivikkeista saavutti hyvän tuloksen jonkun mitatun parametrin suhteen, ja jonkun suhteen puolestaan huonon. Osa materiaaleista saattaa toimia hyvin myös kuivikeseoksissa. Tulosten perusteella pystyttiin kuitenkin valitsemaan kuivikkeita eläinlajikohtaisiin käytännön olosuhteissa tehtyihin kuivikevertailuihin.

Vertailumateriaalina käytetty kuiviketurve osoittautui hyväksi kuivikemateriaaliksi mitattujen parametrien osalta. Kuivikkeina jo aiemminkin käytetty ruokohelpi sekä kuivikkeeksi valmistettu

murukuivike olivat niin ikään useiden eri kuivikeominaisuuksien suhteen hyviä. Joillakin materiaaleilla, kuten rapsinöljellä ja kosteikkokasviksi sopivalla osmankäämillä, voidaan nähdä potentiaali joko sellaisenaan tai seoksissa, mutta niiden saatavuus on tällä hetkellä olematonta. Materiaalien laadussa ja ominaisuuksissa saattaa olla eräkohtaisia eroja. Tutkimusta tarvitaan lisää edustavammilla materiaalierillä.

1.5. Viitteet

- Airaksinen, S., Heinonen-Tanski, H. & Heiskanen, M.-L. 2001. Quality of different bedding materials and their influence on the compostability of horse manure. *Journal of Equine Veterinary Science* 21: 125–130.
- Alasuutari, S. & Palva, R. 2014. Kuivitusopas. Työtehoseuran tiedote: Maataloustyö ja tuottavuus 3/2014 (654). 16 s.
- AOAC (1990) Official Methods of Analysis. Arlington, Virginia, USA: Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- Aro, L., Kotilainen, T., Latvala, T., Saastamoinen, M., Silvan, N. & Tolvanen, A. 2021. Viisi näkökulmaa turpeeseen maa- ja puutarhataloudessa. Teoksessa: Latvala, T., Väre, M. & Niemi, J. (toim.) Maa- ja elintarviketalouden suhdannekatsaus 2021. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 33/2021, Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki, 70 s.
- Borhan, S., Rahman, S. & Hammer, C. 2014. Water absorption capacity of flax and pine horse beddings and gaseous concentrations in bedded stalls. *Journal of Equine Veterinary Science* 34: 611–618.
- Böske, J., Wirh, B., Garlipp, F., Mumme, J. & van der Weghe, H. 2014. Anaerobic digestion of horse dung mixed with different bedding materials in an upflow solid-state (UASS) reactor at mesophilic conditions. *Bioresource Technology* 158: 111–118.
- Da Silva Viana, G., Högel, H., Manni, K. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien vertailu broilereilla. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 36–49.
- Flemming, K., Hessel, E.F. & van der Weghe, H.F.A. 2008a. Evaluation of factors influencing the generation of ammonia in different bedding materials used for horse keeping. *Journal of Equine Veterinary Science* 28: 223–231.
- Flemming, K., Hessel, E.F. & van der Weghe, H.F.A. 2008b. Generation of airborne particles from different bedding materials used for horse keeping. *Journal of Equine Veterinary Science* 28: 408–418.
- Garlipp, F., Hessel, E.F. & van der Weghe, H.F.A. 2011. Characteristics of gas generation (NH₃, CH₄, N₂O, CO₂, H₂O) from horse manure added to different bedding materials used in deep litter bedding systems. *Journal of Equine Veterinary Science* 31: 383–395.
- Hamina, H. 2021. Suomen Siipikarjaliitto. Henkilökohtainen tiedonanto siipikarjatilojen vuotuisesta kuiviketurpeen käyttömäärästä. 26.8.2021.
- Hunter, L. & Houpt, K.A. 1991. Bedding material preferences of ponies. *The Equine Athlete* 4: 17–19.

- Iivonen, S. 2008. Ympäristöturpeet ja niiden käyttö. Helsingin yliopisto, Ruralia instituutti. Raportteja 32. Mikkeli. 60 s.
- Kalra, Y.P. 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, Microwave Digestion of plant tissue in a closed vessel. s. 69–73.
- Kaukonen, E. 2017. Housing conditions and broiler and broiler breeder welfare; the effect of litter condition on contact dermatitis in broilers and breeders, and the effect of elevated structures on broiler leg health University of Helsinki, Faculty of Veterinary Medicine. Academic dissertation.
- Keskinen, R., Saastamoinen, M., Nikama, J., Särkijärvi, S., Myllymäki, M., Salo, T. & Uusi-Kämppä, J. 2017. Recycling nutrients from horse manure: effects of bedding type and its compostability. *Agricultural and Food Science* 26: 68–79.
- Kusch, S. 2008. Horse stall waste: amounts, management, bioenergy generation. The 2nd Electronic International Interdisciplinary Conference, Section Energy, 423–428.
- Maljanen, M., Gondal, Z. & Bhattarai, H.R. 2016. Emissions of nitrous acid (HONO), nitric oxide (NO), and nitrous oxide (N₂O) from horse dung. *Agricultural and Food Science* 25: 225–229.
- Manni, K., Saastamoinen, M. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien vertailu lihanaudoilla. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 66–81.
- Mönch-Tegeder, M., Lemmer, A., Oechsner, H. & Jungbluth, T. 2013. Investigation of the methane potential of horse manure. *Agricultural Engineering International: CIRG Journal* 15: 161–172.
- Mönki, J., Saastamoinen, M., Karikoski, N., Rajamäki, M., Raekallio, M., Junnila, J., Särkijärvi, S., Norring, M., Valros, A., Oranen, S., Fatma, B. & Mykkänen, A. 2021. Effects of bedding material on equine lower airway inflammation: a crossover study comparing peat and wood shavings. *Frontiers in Veterinary Science* 8: 658–814. doi: 10.3389/fvets.2021.65814.
- Nurmisto, U. 1985. Turvekuivike navetassa. Työtehoseuran rakennustiedotus 7/1985 (215). Työtehoseura, Rajamäki. 8 s.
- Parvage, M.M., Ulén B. & Kirchmann, H. 2016. Can organic materials reduce excess nutrient leaching from manure-rich paddock soils? *Journal of Environmental Quality* 46: 105–112.
- Pedersen, G.R., Sondergaard, E. & Ladewig, J. 2004. The influence of bedding on the time horses spend recumbent. *Journal of Equine Veterinary Science* 24: 153–158.
- Peltola, I. 1984. Kuivikkeen nesteepidätyskyvyt testissä. Työtehoseuran rakennustiedotus 1/1984 (200). Työtehoseura, Rajamäki. 6 s.
- Pengtao, L., Cai, A., Descovich, K., Fu, T., Lian, H., Gao, T. & Phillips, C.J.C. 2021. A comparison of rice husks and peanut shells as bedding materials on dairy cows' preferences, behaviour, and health. *Animals* 11: 1887. Doi: 10.3390/ani11071887.

- Pratt, E.V., Rose, S.P. & Keeling, A.A. 2002. Effect of ambient temperature on losses of volatile nitrogen compounds from stored laying hen manure. *Bioresource Technology* 84: 203–205.
- Saastamoinen, M., Manni, K. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien vertailu hevosilla. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022*. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 50–65.
- Saastamoinen, M., Särkijärvi, S. & Hyyppä, S. 2015. Reducing respiratory health risks to horses and workers: A comparison of two stall bedding materials. *Animals* 5: 965–97. Doi: 10.3390/ani5040394.
- SoilFood Oy. 2021. Tuotteet. Nollakuidut. <https://soilfood.fi/tuotteet/>
- Sutinen, E. 2007. Maitotilojen ja lihakarjatilojen kuivikehuolto – kysely maidon- ja lihantuottajille. AMK opinnäytetyö. Savonia ammattikorkeakoulu. 42 s.
- Tampio, E., Virkkunen, E., Heikkinen, P., Hietaranta, M. & Saastamoinen, M. 2014. Hevoselanta tuottaa biokaasua. Maataloustieteen päivät 2014. Suomen maataloustieteellinen seura. Helsinki. 6 s. www.smts.fi.
- Tuomisto, L., Mononen, J., Hyvönen, J., Manni, K., Frondelius, L. & Huuskonen, A. 2021. Nuorten lihanautojen kuivikemieltymykset: vertailussa olki, ruokohelpi ja hevosen kuivikelanta. Julkaisussa: Manni, K. & Huuskonen, A. (toim.). Nautatilojen kuivikehuolto. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 54/2021*. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 50–68.
- Wartell, B.A., Krumins, V., Alt, J., Kang, K., Schwab, B.J. & Fenell, D.E. 2012. Methane production from horse manure and stall waste with softwood bedding. *Bioresource Technology* 112: 42–50.

2. Kuivikemateriaalien vertailu broilereilla

Gabriel Da Silva Viana¹, Heidi Högel¹, Katariina Manni¹ ja Maarit Hellstedt²

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 2 C, 31600 Jokioinen

² Maa- ja metsätalousministeriö, PL 30, 00023 Valtioneuvosto

Tiivistelmä

Hyvä kuivikemateriaali on yksi keskeinen broilereiden terveyteen ja hyvinvointiin vaikuttava tekijä. Toimiva kuivitus mm. pitää linnut puhtaina ja kuivina, tarjoaa eläimille virikkeitä ja tukee salmonellatonta ja antibiootitonta tuotantoa. Suomessa ja muissa pohjoismaissa turve on eniten käytetty kuivike broilerituotannossa erityisesti sen hyvien kuivikeominaisuuksien vuoksi. Kivistyneiden ympäristövaatimusten seurauksena kuiviketurpeelle on kuitenkin löydettävä käyttökustannuksiltaan ja kuivikeominaisuuksiltaan kilpailukykyisiä vaihtoehtoja.

Kokeen tarkoituksena oli tutkia kolmen turvetta korvaavan kuivitusmateriaalin vaikutusta broilereiden tuotantotuloksiin, sulkapeitteen puhtauteen sekä jalkapohjaterveyteen ja kinnerpalamiin. Vertailussa olleet materiaalit olivat rahkasammal sekä ruokohelppi- ja järviruokosilppu. Kontrollimateriaalina oli turve.

Kullakin kuivikemateriaalilla kuivitettiin seitsemän neliön kokoista karsinaa. Kuiviketta levitettiin 2,5 senttimetrin paksuinen kerros karsinan pohjalle ennen lintujen tuloa. Kokeessa oli 336 kpl Ross 308® broilerikanaa ja -kukkoa, jotka tuotiin kokeeseen kuoriutumispäivänä. Linnut jaettiin sattumanvaraisesti yhdelle neljästä kuivikemateriaalista. Kussakin karsinassa oli 12 lintua. Karsinat oli varustettu juomalinjoilla ja riippuvilla ruokintalaitteilla, jotka mahdollistivat rehun ja veden saannin vapaasti koko kokeen ajan. Kasvatuskauden pituus oli 35 päivää.

Lintujen kasvua, rehunkulutusta ja rehuhyötysuhdetta seurattiin koko kokeen ajan. Lisäksi kokeen lopussa lintujen sulkapeitteen puhtaus ja jalkapohjien terveys arvioitiin. Broilereiden tuotanto-ominaisuuksissa ei ollut eroja koko kasvatusjakson ajalta laskettuna. Sen sijaan sulkapeitteen puhtaudessa ja jalkapohjaterveydessä havaittiin eroja. Järviruoko- ja ruokohelppisilpulla kasvaneiden lintujen sulkapeite oli likaisempi kuin rahkasammaleella ja turpeella kasvaneilla linnuilla, joilla havaittiin vain vähäistä likaisuutta. Lisäksi järviruoko- ja ruokohelppisilpulla kasvaneilla linnuilla havaittiin jalkapohjissa selkeitä vaurioita. Suurimmalla osalla rahkasammaleella ja turpeella kasvaneiden lintujen jalkapohjissa ei havaittu lainkaan vaurioita ja niilläkin, joilla niitä havaittiin, ne olivat vähäisiä.

Tuotanto-ominaisuudet koko kasvatusajalta olivat hyvät kaikilla tutkituilla kuivikemateriaaleilla, mutta sulkapeitteen puhtauteen ja jalkapohjaterveyteen perustuen ainoastaan rahkasammalta voidaan pitää testatuista materiaaleista potentiaalisena korvajana turpeen käytölle broilerituotannossa.

Asiasanat: kuivitus, kuiviketurve, ruokohelppi, järviruoko, rahkasammal, broilerituotanto

2.1. Johdanto

Hyvä kuivikemateriaali on yksi keskeinen broilereiden terveyteen ja hyvinvointiin vaikuttava tekijä. Toimiva kuivitus mm. pitää linnut puhtaina ja kuivina, tarjoaa eläimille virikkeitä ja tukee salmonellatonta ja antibiootitonta tuotantoa. Kuivikemateriaaleina voidaan saatavuuden mukaan käyttää erilaisia kasvi- tai puuperäisiä kuivikkeita, kuten sahanpurua tai puulastuja tai silputtua olkea tai heinää. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää prosessoitua paperia tai hiekkaa (Aviagen 2018, Diarra ym. 2021). Kuiviketta voidaan myös uudelleen käyttää ja niin toimitaan monin paikoin mm. Brasiliassa ja Yhdysvalloissa (Bucher ym. 2020, de Toledo ym. 2020). Uudelleen käyttöä varten pehkusta voidaan poistaa paakkuuntunut materiaali, pehku voidaan karkottaa tai se voidaan käsitellä esimerkiksi hapolla tai emäksellä ennen seuraavan parven saapumista (Bucher ym. 2020, de Toledo ym. 2020). Aviagen ei kuitenkaan suosittele kuivikkeiden uudelleenkäyttöä (Aviagen 2018). Kuivikkeen uudelleenkäytössä ongelmia ja riskeinä ovat nesteen- ja ammoniakinsitomiskyvyn heikentyminen sekä patogeenisten bakteerien ja etenkin *Salmonellan* ja *E. colin* leviäminen (Wilkinson ym. 2011, Williams ym. 2012, Oladiende ym. 2018). Hyvä kuivikemateriaali on monen tekijän lopputulema ja kaikilla materiaaleilla on heikkoutensa ja vahvuutensa.

Suomessa ja muissa pohjoismaissa turve on eniten käytetty kuivike broilerituotannossa erityisesti sen hyvien kuivikeominaisuuksien vuoksi. Turpeella on tunnetusti erinomainen nesteensitomiskyky. Lisäksi se sitoo lannasta vapautuvaa ammoniakkia ja pitää näin hengitysilman puhtaampana. Samalla pehkuun sitoutuu arvokasta ravinnetta, typpeä. Turpeella on myös mikrobin kasvua estäviä ominaisuuksia, mikä on eläinterveyden kannalta merkittävä asia. Lisäksi turve on pehmeä materiaali ja se tarjoaa virikettä kuopsutteluun ja kylpemiseen. Kuivikkeiden hygieeninen laatu on myös tärkeää, koska homepölystä aiheutuu ongelmia niin eläimille kuin ihmisille (Saastamoinen ym. 2015). Käytettävyyden kannalta turpeen etuna on, että se on helppo levittää ja muodostuvalle kuivikelannalle on jatkokäyttöä esimerkiksi peltolannoitteena tai kasvualustana.

Turpeen käyttö ei kuitenkaan ole täysin ongelmaton. Euroopan unionin yhteisen ilmastopimuksen ja nykyisen hallituksen laatiman hallitusohjelman tavoitteet edellyttävät ripeitä toimia päästöjen vähentämiseksi ja hiilinielujen vahvistamiseksi (Aro ym. 2021). Päästöoikeuden kohonnut hinta ja korkea verotus ovat nostaneet energiaturpeen hintaa ja siten vähentänyt sen käyttöä nopeasti. Energiaturpeen noston väheneminen vaikuttaa myös noston yhteydessä suon pintakerroksista saatavan kuiviketurpeen saatavuuteen ja hintaan. Kiristyvät päästötavoitteet ja muutokset turvemarkkinoilla ovat luoneet paineita etsiä uusia, turvetta korvaavia kuivikevaihtoehtoja.

Etsittäessä kuiviketurpeelle korvaavia materiaaleja on kiinnitettävä huomioita kuivikkeen useisiin eri ominaisuuksiin, sillä kuivikemateriaalit voivat erota toisistaan mm. käyttöominaisuuksiltaan, käyttömääriltään, käytettävyydeltään ja hinnaltaan. Hyvän kuivikkeen ominaisuuksiin kuuluu, että se sitoo hyvin nestettä ja ammoniakkia, sen mikrobiologinen laatu on hyvä, se ei pölyä, se on helppo varastoida ja kuljettaa, sitä on helposti saatavilla, se on käytössä edullinen ja se pystytään jatkoohdyntämään esimerkiksi lannoitteena. Tärkeä ominaisuus on myös käytetyn kuivikkeen kompostoituminen, joka vaikuttaa kuivikelannan jatkokäyttöön (Airaksinen ym. 2001, Keskinen ym. 2017). Broilerituotannossa pehku eli kuivikemateriaalin, ulosteen, rehujäämien ja höyhenten muodostama kerros, on lintujen alla koko tuotantojakson ajan. Pehkun kuntoon heijastuvat useat tekijät, kuten rehun ominaisuudet (esim. raaka-aineet, ravintosisältö ja lisäaineet), jotka vaikuttavat lintujen ulosteen koostumukseen, lintujen hoito (mm. eläintiheys), laitteistot (mm. juoma- ja ruokintalaitteistot) sekä ympäristötekijät (esim. lämpötila, ilmankestävyys ja ilmanvaihto) (Aviagen 2018).

Huonolaatuinen ja kostea pehku lisää siitä vapautuvan ammoniakkin määrää (Miles ym. 2011, Aviagen 2018). Ammoniakki ja kosteus altistavat niin eläimet kuin ihmiset terveysongelmille, kuten hengityselinsairauksille (Elfman ym. 2011, Perkins ym. 2016). Lisäksi ne altistavat broilerit kontakti-ihottumalle (Greene ym. 1985, Haslam ym. 2006, 2007, Bilgili ym. 2009, de Jong ym. 2014). Broilereiden kontakti-ihottuma syntyy huonokuntoisen pehkun kanssa kosketuksissa oleville ihoalueille jalkapohjiin ja kintereisiin (Kaukonen ym. 2017). Kontakti-ihottumaa voi ilmestyä myös rinnan alueelle (Haslam ym. 2007). Kyseessä on tulehdusreaktio, jossa ihon pintaan tulee värimuutoksia ja haavaumia ja ihon pintakerrokset paksuuntuvat. Pahimmillaan jalkapohjassa on syviä haavaumia. Ihottumaan voi liittyä myös bakteeri-infektio (Shepard ja Fairchild 2010). Kaupallisessa broilerituotannossa kontakti-ihottuma korreloi taloudellisten menestysten kanssa, sillä se heikentää kasvua ja lisää ruohohylkäyksiä. Ihotulehdukset ovat myös hyvinvointiongelmia, koska ne aiheuttavat kipua ja kärsimystä linnuille (Kaukonen ym. 2016).

Koska broilerituotannossa ylivoimaisesti eniten käytetyn kuivikemateriaalin, turpeen saatavuuteen ja hintaan tulevaisuudessa liittyy paljon epävarmuuksia, on etsittävä vaihtoehtoisia kuivikeratkaisuja. Kyseessä olevan kuivikevertailun tavoitteena oli tutkia järviruoko- ja ruokohelpisilpun sekä rahkasammaleen käyttöä turvetta korvaavana kuivikemateriaalina broilereilla käytännön olosuhteissa pilottimittakaavassa. Kontrollina oli turvekuivitus.

2.2. Aineisto ja menetelmät

2.2.1. Kuivikemateriaalien valinta

Ennen käytännön olosuhteissa tehtyä kuivikemateriaalien vertailua verrattiin 16 eri kuivikemateriaalin ominaisuuksia laboratoriomittakaavassa tehdyissä testeissä. Laboratoriotesteissä oli turpeen lisäksi korsimateriaaleja, puunjalostus- ja myllyteollisuuden sivujakeita sekä tekstiilijätettä. Nämä on raportoitu erillisessä artikkelissa (Saastamoinen ym. 2022).

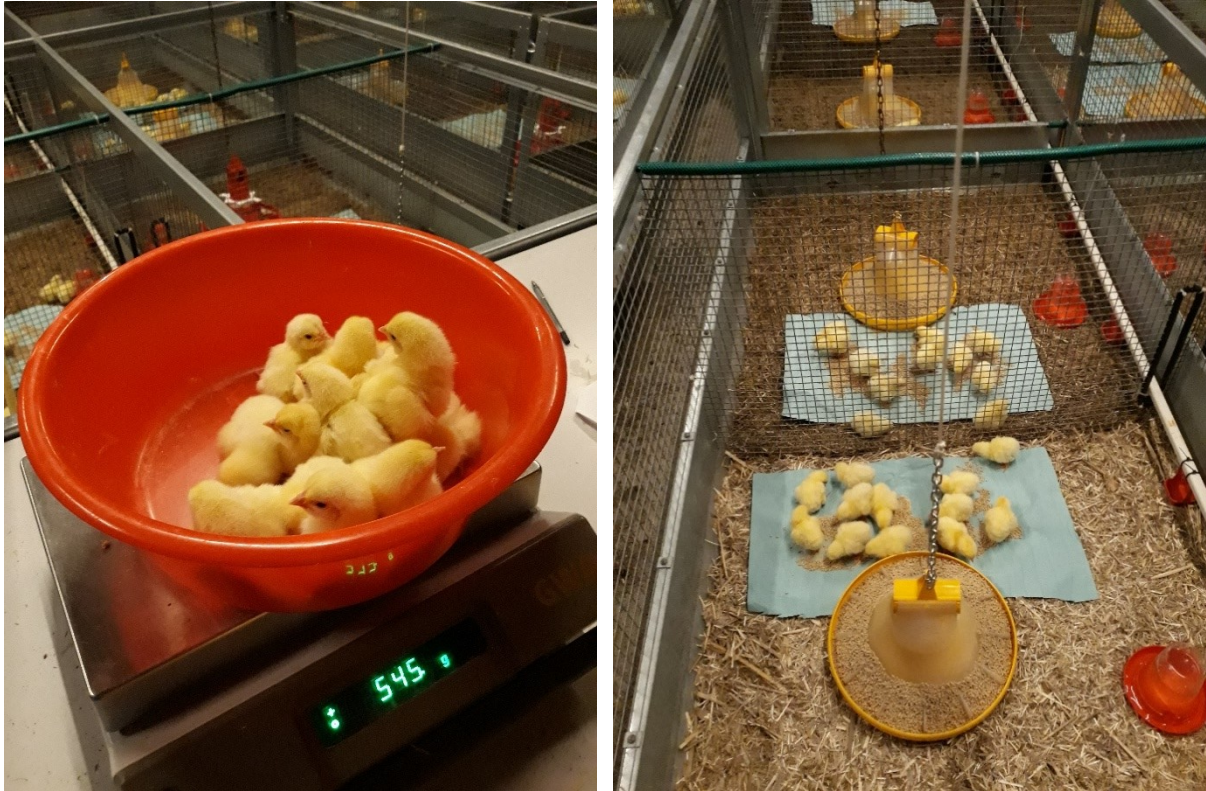
Broilereilla käytännön olosuhteissa testattavat materiaalit valittiin ensisijaisesti laboratoriotesteissä mitattujen kuivikeominaisuuksien ja saatavuuden perusteella. Nesteensitomiskyky on yksi keskeinen kuivikkeen ominaisuus. Laboratoriotesteissä ilmeni, että turpeen lisäksi myös korsimateriaaleilla imukyky kuivikekiloa kohden laskettuna oli hyvä. Tämä oli yksi peruste korsimateriaalien valintaan broilereilla tehtävään kuivikevertailuun. Lisäksi, vaikka rahkasammal ei ollut mukana laboratoriomittakaavan kuivikevertailuissa, se haluttiin ottaa mukaan sen käyttöön liittyvän kasvaneen kiinnostuksen vuoksi.

Broilereilla tehtyyn kuivikemateriaalien vertailuun valitut materiaalit olivat ruokohelpisilppu, järviruokosilppu ja rahkasammal sekä vertailukuivikkeena turve. Ruokohelpisilpun toimittaja oli Kiteen Mato ja Multa, järviruokosilpun toimittaja oli Kestävästi luonnosta -osuuskunta, rahkasammaleen toimittaja oli Biolan Oy ja turpeen toimitti Neova (ent. Vapo).

2.2.2. Koejärjestelyt, eläimet ja kasvatusympäristö

Kuivikemateriaalien vertailu tehtiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) Jokioisten koepaikalla. Kokeen kesto oli 35 päivää ja se toteutettiin aikavälillä 11.1.–15.2.2021. Kokeessa oli 336 kpl Ross 308® lintua, joista puolet oli kukkoja ja puolet kanoja. Linnut noudettiin DanHatch Finland Oy:n Mynämäen hautomolta kuoriutumispäivänä. Kokeen alussa ne jaettiin satunnaisesti 12 linnun ryhmiin, joissa oli puolet kukkoja ja puolet kanoja. Jokainen ryhmä punnittiin ja laitettiin punnituksen jälkeen satunnaisesti yhteen ennen kokeen alkua kuivitettuun karsinaan (Kuva 1). Kuivikemateriaalista riippumatta jokaisessa karsinassa kuivikekerroksen paksuus oli 2,5 cm, mikä

vastaa tyyppillistä turvekuivituksen käyttömäärää. Kullakin koemateriaalilla oli kuivitettu seitsemän karsinaa satunnaisessa järjestyksessä. Karsinoita oli yhteensä 28.



Kuva 1. Kuivikeryhmän punnitus vasemmanpuoleisessa kuvassa ja untuvikot järviruoko- ja ruokohelpisilpulla kuivitetuissa karsinoissa kuivikevertailun ensimmäisenä päivänä. Kuvat: Luke/Katariina Manni.

Karsinoiden koko oli 1 m×1 m. Lintujen käytettävissä oleva karsina-ala oli 0,9 m². Karsinoissa oli riippuvat ruokintalaitteet ja juomanipat. Lintujen saapumispäivänä rehua levitettiin rehupaperin päälle karsinoiden lattialle ja vettä laitettiin juoma-astiaan, millä varmistettiin, että pienet untuvikot saivat rehua ja vettä mahdollisimman helposti. Vettä ja rehua oli tarjolla vapaasti koko kokeen ajan (Kuva 2). Linnuilla oli tyyppinen nelivaiheinen rehustus ja ruokinta oli sama kaikilla koeryhmillä.



Kuva 2. Linnuilla oli koko ajan vettä ja rehua vapaasti tarjolla. Kuvat: Luke/Katariina Manni.

2.2.3. Olosuhteiden mittaus, näytteiden otto ja analysointi

Elopainon ja kasvun määrittämiseksi sekä rehunkulutuksen laskemiseksi linnut ja rehujäännös punnittiin aina rehun vaihdon yhteydessä lintujen ollessa 10, 17, 24 ja 35 päivän ikäisiä. Tulosten perusteella laskettiin päiväkasvu ja rehuhyötysuhde. Kuolleisuus kirjattiin karsinakohtaisesti päivittäin.

Lintujen puhtaus ja jalkapohjaterveys arvioitiin kokeen päättyessä lintujen ollessa 35 päivän ikäisiä. Puhtauden arvioinnissa kiinnitettiin erityistä huomiota sulkapeitteen puhtauteen, joka arvioitiin kolmiportaisella asteikolla 0-2, jossa 0 = ei likaisuutta, 1 = vähäinen likaisuus ja 2 = erittäin likainen. Jalkapohjavaurioiden ja kinnerpalamien esiintyvyyttä arvioitiin The Welfare Quality® -projektin tuottaman protokollan mukaisesti viisiportaisella asteikolla 0-4, jossa 0 = ei vioittumaa, 1 ja 2 = jalkapohjan/kintereen vähäinen vioittuma ja 3 ja 4 = selkeä jalkapohjan tulehdus tai kinnerpalama. Asteikon numerot viittaavat vioittuman laajuuteen protokollan yhteydessä annetun kuvasarjan mukaisesti (Welfare Quality® 2009).

Kokeessa olleista kuivikemateriaaleista otettiin näytteet (noin litra) kokeen alussa. Lisäksi kokeen lopussa lintujen poistamisen jälkeen kunkin karsinan kuivikelannasta otettiin näyte (noin litra) myöhempiä laboratorioanalyysjä varten. Lisäksi kustakin karsinasta otettiin kuivikelantaa (noin kolme litraa) myöhempää astiakoetta varten, jossa selvitettiin kuivikelannan tyyden hyväksikäyttöä lannoitekäytössä. Kuivikemateriaaleista otettuja näytteitä säilytettiin huoneilmassa ja kuivikelantanäytteet varastoitettiin pakastamalla $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Näytteistä analysoitiin kuiva-aine, pH, kokonaistyyppi, ammoniumtyppi ja kokonaisfosfori.

2.2.4. Tilastollinen analyysi

Tuotantoparametrit analysoitiin SAS-ohjelmistolla yksisuuntaisella yhden muuttujan varianssi-analyysillä (one-way ANOVA) käyttäen yleistä lineaarista mallia (GLM). Tilastollisessa mallissa kuivikekäsittely oli luokitteleva muuttuja ja karsina satunnaisvaikutus. Tilastollisesti merkitseviä keskiarvoeroja tarkasteltiin Tukeyn testillä. Kuolleisuusaineisto ei noudattanut normaalijakaumaa, joten ne analysoitiin käyttäen ei-parametristä Kruskal-Wallis:n testiä. Tilastollisesti merkitsevä pidettiin p -arvoa $p < 0,05$.

2.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

2.3.1. Kuivikemateriaalien käyttömäärät

Kutakin kuivikemateriaalia levitettiin seitsemään karsinaan 2,5 cm kerros. Tilavuuspanot olivat erilaisia eri materiaaleilla, joten painoon perustuvissa käyttömäärissä oli vaihtelua. Kuivikemateriaalien käyttömäärät on esitetty kiloina (kg) Taulukossa 1. Eniten kului rahkasammalta, jota käytettiin 7 kg karsinaa kohti ja vähiten ruokohelpsilppua, jota käytettiin 2,4 kg karsinaa kohti (Taulukko 1). Turvetta kului 5 kg ja järviruokosilppua 2,7 kg karsinaa kohti. Suuret erot käyttömäärissä (kg) selittyvät pitkälti kuivikemateriaalien tilavuuspainoilla. Broilerikokeen yhteydessä määritetty rahkasammaleen tilavuuspaino oli noin 3,8-kertainen ruokohelpsilppuun verrattuna (Taulukko 1).

Taulukko 1. Kuivikemateriaalien käyttömäärä lintua kohti kiloina (kg) sekä kuivikemateriaalien tilavuuspainot.

Kuivikemateriaali	Lintua kohti, kg ¹⁾	Tilavuuspaino, kg/m ^{3 2)}	Tilavuuspaino, kg/m ^{3 3)}
Turve	0,4	117	150
Järviruokosilppu	0,2	51	101
Ruokohelpisilppu	0,2	58	141
Rahkasammal	0,6	219	tp ⁴⁾

¹⁾ Punnittu karsinoiden kuivituksen yhteydessä.

²⁾ Broilerikokeen yhteydessä mitattu tilavuuspaino.

³⁾ Laboratoriomittakaavan testien yhteydessä mitattu tilavuuspaino.

⁴⁾ Tieto puuttuu, koska ei ollut mukana laboratoriomittakaavan testeissä.

Kuivikemateriaalien tilavuuspainot saattavat vaihdella huomattavasti samaakin materiaalia käytettäessä, mikä ilmeni myös tässä hankkeessa määritetyissä tilavuuspainoissa. Kuivikemateriaalien laboratoriomittakaavan vertailuissa järviruoko- ja ruokohelpisilpun tilavuuspainot olivat huomattavasti suuremmat ja kuiviketurpeen puolestaan jonkin verran pienempi kuin broilereilla tehdyn kuivikevertailun yhteydessä määritetyt tilavuuspainot (Taulukko 1). Myös kuivike-toimijoiden ilmoittamat materiaalien tilavuuspainot vaihtelevat. Esim. Neova (ent. Vapo) ilmoittaa kuiviketurpeensa tilavuuspainon olevan 80–160 kg/m³ sen mukaan, mikä tuotteen maatumisaste on (Vapo, Irtokuiviketurpeen tuoteseloste 9/2018). Ruokohelpi- ja järviruokosilpun tilavuuspainoon saattoi vaikuttaa silputtujen korsien pituus. Lyhyempi silppu voi olla tilavuuspainoltaan painavampaa kuin pidempiä korsia sisältävä silppu, koska sitä saattaa mahtua mittaastiaan enemmän kuin pidempää silppua.

2.3.2. Kuivikemateriaalien ja kuivikelannan koostumus

Kuivikemateriaalien kuiva-aineissa oli eroja. Rahkasammaleen kuiva-aine poikkesi selvästi muista kuiva-ainepitoisuuden ollessa vain noin 20 % (Taulukko 2). Alhainen kuiva-ainepitoisuus selittää suurta tilavuuspainoa (Taulukko 1). Turve oli materiaaleista happamin ja ruokohelpisilppu vähiten hapan. Kaikkien kuivikemateriaalien pH oli kuitenkin happaman puolella (pH < 7) (Taulukko 2).

Taulukko 2. Kuivikemateriaalien ravinnepitoisuudet ja pH.

	Kuiva-aine (%)	Ammonium-tyyppi (g/kg)	Kokonais-tyyppi (g/kg)	Fosfori (g/kg)	pH
Turve	68,3	0,05	6,01	0,16	3,8
Järviruokosilppu	89,7	0,02	3,39	0,23	4,8
Ruokohelpisilppu	81,7	0,30	4,63	0,86	5,9
Rahkasammal	20,2	0,00	1,11	0,09	4,8

Kuivikelantojen eli pehkujen kuiva-aineet olivat rahkasammalta lukuun ottamatta välillä 55–56 % (Taulukko 3). Rahkasammaleen kuiva-aine oli noin 10 prosenttiyksikköä suurempi. Rahkasammalpehkuun ammonium- ja kokonaistyyppipitoisuudet olivat alhaisimpia, kun taas turpeen

ammoniumtyppi- ja järviruokosilpun kokonaistyyppipitoisuudet olivat korkeimmat. Korkein pH oli rahkasammalpehkulla ja alhaisin ruokohelpisilppupehkulla (Taulukko 3).

Taulukko 3. Kuivikelantojen ravinnepitoisuudet ja pH 35-päiväisen kasvatusjakson jälkeen.

	Kuiva- aine (%)	Ammonium- typpi (g/kg)	Kokonaistyyppi (g/kg)	Fosfori (g/kg)	pH
Turve	56,0	2,94	25,51	7,16	7,0
Järviruokosilppu	55,1	2,72	26,67	7,37	6,9
Ruokohelpisilppu	55,8	2,59	26,35	7,72	6,7
Rahkasammal	65,9	2,07	27,89	8,81	7,8

2.3.3. Tuotantotulokset

Tuotantoparametrit päiväkasvu, rehunkulutus ja rehuhyötysuhde laskettiin alusta (päivä 0) kun-kin rehevaiheen loppuun. Tuotantotulokset eri rehevaiheiden loppuun sekä koko kasvatusajalle ovat Taulukossa 4. Ensimmäisen rehevaiheen lopussa (päivä 10) järviruokosilpulla olleiden lintujen rehuhyötysuhde oli huonompi ($p < 0,05$) kuin turpeella ja rahkasammaleella olleilla linnuilla, mutta se ei eronnut ruokohelpisilpulla olleista linnusta. Ruokohelpisilpulla olleiden lintujen kuolleisuus oli suurempi ($p < 0,05$) kuin muilla kuivikemateriaaleilla kasvaneilla linnuilla.

Toisen rehevaiheen lopussa (päivä 17) ruokohelpisilpulla olleiden lintujen paino oli korkeampi ($p < 0,05$) kuin järviruokosilpulla ja rahkasammaleella olleilla linnuilla, mutta se ei eronnut turpeella olleiden lintujen painosta (Taulukko 4). Järviruokosilpulla ja rahkasammaleella kasvaneiden lintujen päiväkasvu oli heikompi ja päivittäinen rehunkulutus suurempi ($p < 0,05$) kuin ruokohelpisilpulla kasvaneilla linnuilla, mutta ne eivät eronneet turpeella kasvaneista linnuista. Rehuhyötysuhteessa ei havaittu eroja ryhmien välillä toisen rehevaiheen loppuun asti laskettuna (päivä 17). Myöskään kuolleisuudessa ei havaittu merkitseviä eroja kuivikemateriaalien välillä.

Kolmannen rehevaiheen lopussa (päivä 24) ryhmien välillä oli eroja elopainossa, päiväkasvussa sekä rehunkulutuksessa (Taulukko 4). Ruokohelpisilpulla kasvaneet linnut olivat painavampia ($p < 0,05$) ja niiden päiväkasvu oli parempi ($p < 0,05$) kuin järviruokosilpulla tai rahkasammaleella kasvaneilla linnuilla, mutta ne eivät eronneet turpeella kasvaneista linnuista. Ruokohelpisilpulla kasvaneiden lintujen päivittäinen rehunkulutus oli suurempi ($p < 0,05$) kuin rahkasammaleella kasvaneiden lintujen, mutta ne eivät eronneet turpeella tai järviruokosilpulla kasvaneista linnuista. Kuolleisuudessa ei havaittu merkitseviä eroja eri kuivikemateriaalien välillä.

Neljännän rehevaiheen lopussa eli koko kokeen ajalta laskettuna elopainoissa, kuolleisuudessa tai muissa tuotantotuloksissa ei havaittu eroja eri kuivikemateriaaleilla olleiden lintujen välillä (Taulukko 4).

Taulukko 4. Tuotantotulokset laskettuna kunkin rehuvaiheen loppuun (päivät 0–10, 0–17, 0–24 ja 0–35).

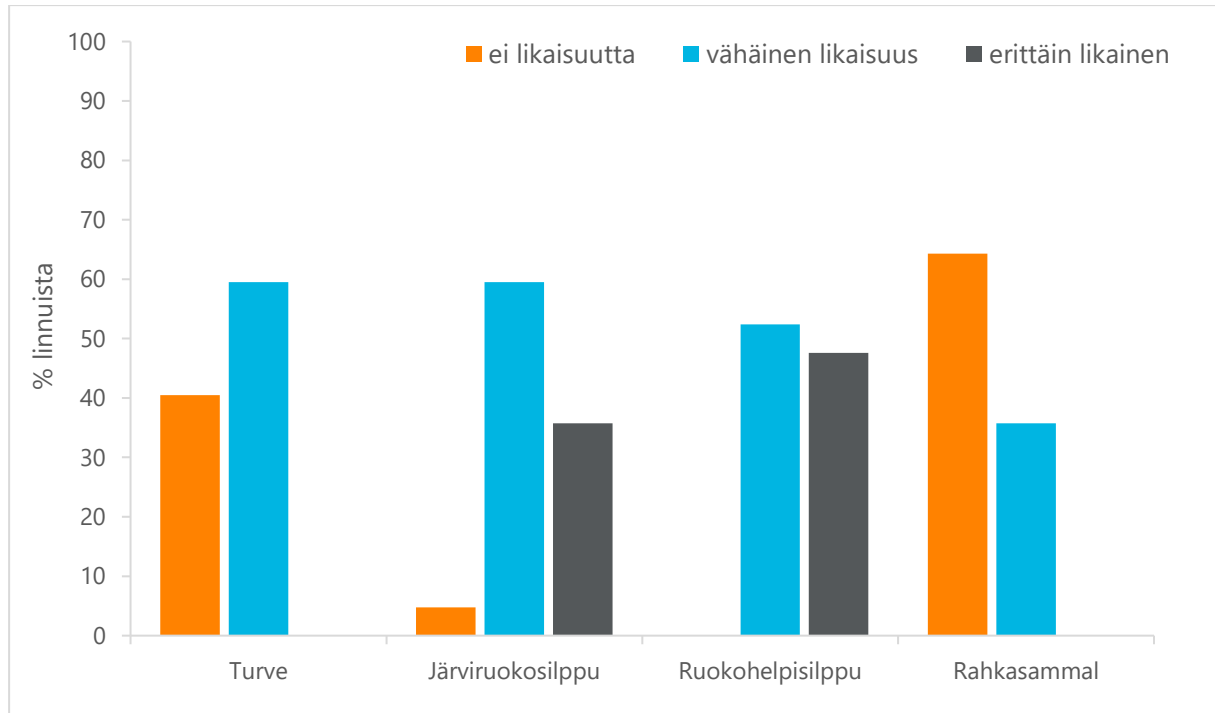
0–10 d	Elopaino, kg	Päiväkasvu, g/pv	Rehunkulutus, g/pv	Rehuhyöty- suhde, g/g	Kuolleisuus, %
Turve	0,396	35,1	33,6	0,957 ^a	0,0
Järviruokosilppu	0,381	33,7	33,4	0,993 ^b	0,0
Ruokohelpisilppu	0,399	35,4	34,1	0,964 ^{ab}	4,8
Rahkasammal	0,388	34,3	32,7	0,955 ^a	0,0
SEM ¹⁾	0,157	0,274	0,184	0,005	0,706
p-arvo	0,847	0,106	0,074	0,020	0,021
0–17 d	Elopaino, kg	Päiväkasvu, g/pv	Rehunkulutus, g/pv	Rehuhyöty- suhde, g/g	Kuolleisuus, %
Turve	0,879 ^{ab}	49,1 ^{ab}	57,6 ^{ab}	1,174	1,2
Järviruokosilppu	0,859 ^a	47,9 ^a	55,9 ^a	1,167	6,0
Ruokohelpisilppu	0,911 ^b	51,0 ^b	58,7 ^b	1,152	6,0
Rahkasammal	0,852 ^a	47,5 ^a	55,9 ^a	1,178	1,2
SEM ¹⁾	7,315	0,431	0,332	0,005	0,902
p-arvo	0,011	0,012	0,001	0,281	0,063
0–24 d	Elopaino, kg	Päiväkasvu, g/pv	Rehunkulutus, g/pv	Rehuhyöty- suhde, g/g	Kuolleisuus, %
Turve	1,451 ^{ab}	58,6 ^{ab}	73,2 ^{ab}	1,249	3,6
Järviruokosilppu	1,418 ^a	57,2 ^a	73,4 ^{ab}	1,284	6,0
Ruokohelpisilppu	1,509 ^b	61,0 ^b	76,2 ^a	1,250	8,3
Rahkasammal	1,408 ^a	56,8 ^a	72,8 ^b	1,283	3,6
SEM ¹⁾	0,012	0,490	0,484	0,007	1,151
p-arvo	0,004	0,004	0,036	0,139	0,314
0–35 d	Elopaino, kg	Päiväkasvu, g/pv	Rehunkulutus, g/pv	Rehuhyöty- suhde, g/g	Kuolleisuus, %
Turve	2,344	65,7	95,9	1,460	6,0
Järviruokosilppu	2,302	64,5	96,3	1,493	6,0
Ruokohelpisilppu	2,399	67,3	98,0	1,458	13,1
Rahkasammal	2,300	64,4	95,1	1,476	6,0
SEM ¹⁾	0,016	0,451	0,581	0,007	1,281
p-arvo	0,277	0,274	0,531	0,455	0,133

Käsittelykeskiarvot, joilla ei ole samaa yläindeksikirjainta, eroavat toisistaan merkitsevästi (Tukeyn testi, $p < 0,05$).

¹⁾ Keskiarvojen keskihajonta.

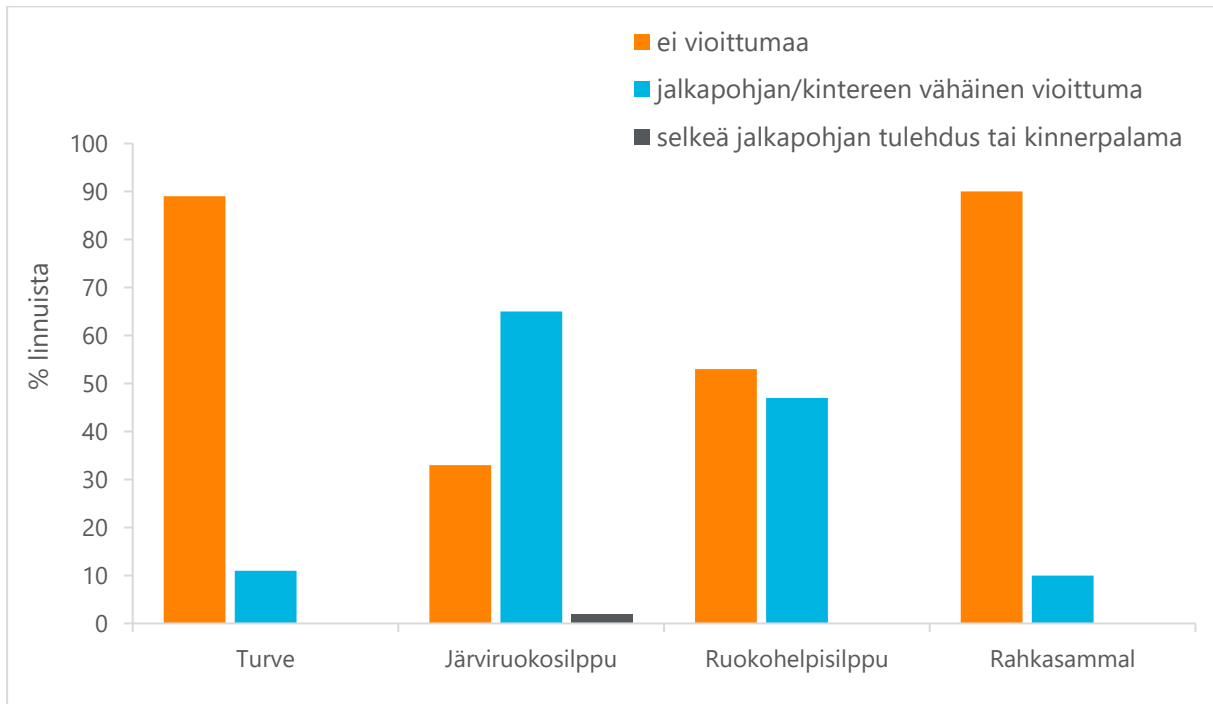
2.3.4. Puhtaus ja jalkaterveys

Broilereiden sulkapeitteen puhtaudessa oli eroja eri kuivikemateriaaleilla kasvaneiden lintujen välillä. Turpeella ja rahkasammaleella kasvaneista linnuista suurin osa oli luokissa 0 ja 1 eli sulkapeitteessä ei havaittu likaisuutta tai se oli vähäistä (Kuva 3). Järviruokosilpulla ja ruokohelpisilpulla kasvaneista linnuista taas suuri osa, 36 ja 48 %, oli luokassa 2 eli sulkapeitteet olivat erittäin likaisia.



Kuva 3. Broilereiden sulkapeitteen likaisuus eri kuivikemateriaaleilla.

Broilereiden jalkaterveydessä oli huomattavia eroja eri kuivikemateriaaleilla kasvaneiden lintujen välillä. Turpeella ja rahkasammaleella kasvaneilla linnuilla havaittiin vain vähäisiä jalkapohjien vioittumia ja suurimmalla osalla linnuista näillä kuivikemateriaaleilla ei havaittu mitään muutoksia jalkapohjien iholla (Kuva 4). Ruokohelpi- ja järviruokosilpulla lintujen jalkaterveys oli selvästi huonompi kuin rahkasammaleella tai turpeella kasvaneilla. Ruokohelpisilpulla vain vähän yli puolella ja järviruokosilpulla kasvaneista linnuista ainoastaan 33 prosentilla ei havaittu jalkapohjissa mitään muutoksia. Järviruokosilpulla kasvaneilla linnuilla havaittiin myös selkeitä vioittumia jalkapohjissa. Lintujen rinnan iholla ei ollut tulehdusta eikä kinnerpalamia havaittu missään kuivikemateriaaliryhmässä.



Kuva 4. Broilereiden jalkaterveys eri kuivikemateriaaleilla.

Heikkolaatuinen kuivike voi aiheuttaa broilereille ihotulehduksia. Kosteus aiheuttaa pehkun tiivistymistä, mikä heikentää sen lämmöneristyskykyä ja huokoisuutta. Tämä edesauttaa anaerobisten mikro-organismien kasvua ja sitä kautta ammoniakkin ja metaanin tuottoa pehkuun erityyisestä virtsahaposta. Kuivikelantojen eli pehkujen kosteudessa ei ollut suuria eroja kuivikemateriaalien välillä lukuun ottamatta rahkasammalta, jonka kosteus oli noin 10 %:a alhaisempi kuin turpeen, järviruokosilpun ja ruokohelpisilpun (Taulukko 3). Samasta kosteuspitoisuudesta huolimatta turvepehku oli huomattavan vähän tiivistynyt järviruoko- ja ruokohelpisilppuun verrattuna, mikä voi selittyä lintujen käyttäytymisellä. Vaikka tässä tutkimuksessa ei keskitytty lintujen käyttäytymisen tutkimiseen, joitain huomioita luontaisesta käyttäytymisestä, kuten kylpemisestä ja kuopsuttelusta, kuitenkin tehtiin. Havaintojen perusteella järviruoko- ja ruokohelpisilpulla kasvaneet linnut eivät toteuttaneet luontaista käyttäytymistään juuri lainkaan, mikä johti siihen, että ulosteet eivät sekoittuneet kunnolla kuivikemateriaaleihin eikä pehkun homogenisoitumista tapahtunut (Kuva 5). Pehkun pintaan muodostui paksu ulostekerros, joka kasteli kuivikemateriaalikerroksen pinnan niin, että se ei enää sitonut nestettä. Tämän seurauksena kokeen lopussa pehku oli kaksikerroksinen. Pehkun pintakerros oli märkä ja sen alla oli kerros alkuperäistä kuivaa kuivikemateriaalia. Kun pehku homogenisoitiin kemiallista analyysiä varten, erot kerrosten kosteuspitoisuudessa tasoittuivat, minkä seurauksena kosteuspitoisuudessa ei ollut eroja kuivikemateriaalien välillä.



Kuva 5. Kuivikemateriaalit karsinoissa. Vasemmalla ylhäällä turve, oikealla ylhäällä rahkasammal, vasemmalla alhaalla järviruokosilppu ja oikealla alhaalla ruokohelpisilppu. Kuvat: Luke/Gabriel Da Silva Viana.

2.4. Johtopäätökset

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää vaihtoehtoisten turvetta korvaavien kuivikemateriaalien sopivuutta broilereiden kuivitukseen. Eri kuivikemateriaaleilla kasvatettujen broilereiden tuotantotuloksissa ei havaittu eroja 35-päiväisen kasvatusjakson ajalta laskettuna, minkä perusteella vaihtoehtoiset materiaalit voisivat soveltua korvaamaan turvetta kuivikemateriaalina. Erot broilereiden sulkapeitteen puhtaudessa ja jalkaterveydessä kuivikemateriaalien välillä osoittivat kuitenkin, että korsipohjaiset materiaalit eivät soveltuneet korvaamaan turvetta. Järviruoko- ja ruokohelpisilpulla kasvatetut broilerit olivat selvästi likaisempia ja niiden jalkaterveys oli heikentynyt verrattuna turpeella ja rahkasammaleella kasvaneisiin lintuihin. Syynä heikentyneisiin jalkapisteisiin ja likaisuuteen oli todennäköisesti pehkun kosteus. Likaisuus ja huono jalkaterveys korsimateriaaleilla kuivitetuissa karsinoissa johtui todennäköisesti siitä, että niissä lanta sekoittui huonosti kuivikemateriaalin sekaan ja pehkun pintaan kertyi lantaa muodostaen tiiviin kerroksen. Lisäksi pinta vettyi seurantajakson loppua kohden. Tämän tutkimuksen perusteella järviruoko- ja ruokohelpisilppua ei voida pitää soveltuvina turpeen korvaamiseen broilerituotannossa ainakaan yksinomaisina materiaaleina.

2.5. Viitteet

- Airaksinen, S., Heinonen-Tanski, H. & Heiskanen, M.-L. 2001. Quality of different bedding materials and their influence on the compostability of horse manure. *Journal of Equine Veterinary Science* 21: 125–130.
- Aro, L., Kotilainen, T., Latvala, T., Saastamoinen, M., Silvan, N. & Tolvanen, A. 2021. Viisi näkökulmaa turpeeseen maa- ja puutarhataloudessa. Teoksessa: Latvala, T., Väre, M. & Niemi, J. (toim.) Maa- ja elintarviketalouden suhdannekatsaus 2021. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 33/2021, Luonnonvarakeskus (Luke). Helsinki. 70 s.
- Aviagen. Ross 308® Broiler management book. 2018. Saatavissa: http://eu.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross-BroilerHandbook2018-EN.pdf
- Bilgili, S.F., Hess, J.B., Blake, J.P., Macklin, K.S., Saenmahayak, B. & Sibley, J.L. 2009. Influence of bedding material on footpad dermatitis in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research* 18: 583–589.
- Bucher, M.G., Zwirzitz, B., Oladeinde, A., Cook, K., Plymel, C., Zock, G., Lakin, S., Aggrey, S.E., Ritz, C., Looft, T., Lipp, E., Agga, G.E., Adbo, Z. & Sistani, K.R. 2020. Reused poultry litter microbiome with competitive exclusion potential against *Salmonella* Heidelberg. *Journal of Environmental Quality* 49(4): 869–881.
- de Jong, I.C., Gunnink, H. & van Harn, J. 2014. Wet litter not only induces footpad dermatitis but also reduces overall welfare, technical performance, and carcass yield in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research* 23(1): 51–58.
- de Toledo, T.D.S., Roll, A.A.P., Rutz, F., Dallmann, H.M., Dai Prá, M.A., Leite, F.P.L. & Roll, V.F.B. 2020. An assessment of the impacts of litter treatments on the litter quality and broiler performance: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 15(5): e0232853.
- Diarra, S., Lameta, S., Amosa, F. & Anand, S. 2021. Alternative Bedding Materials for Poultry: Availability, Efficacy, and Major Constraints. *Frontiers in Veterinary Science* 8: 669504.

- Elfman, L., Wålander, R., Riihimäki, M. & Pringle, J. 2011. Air Quality in Horse Stables. In: Mazzeo, N. (ed.) *Chemistry, Emission Control, Radioactive Pollution and Indoor Air Quality*. 680 p. In Tech, Rijeka, Croatia.
- Greene, J.A., McCracken, R. & Evans, R. 1985. A contact dermatitis of broilers – clinical and pathological findings. *Avian Pathology* 14: 23–38.
- Haslam, S.M., Brown, S.N., Wilkins, L.J., Kestin, S.C., Warriss, P.D. & Nicol, C.J. 2006. Preliminary study to examine the utility of using foot burn or hock burn to assess aspects of housing conditions for broiler chicken. *British Poultry Science* 47(1): 13–18.
- Haslam, S.M., Knowles, T.G., Brown, S.N., Wilkins, L.J., Kestin, S.C., Warriss, P.D. & Nicol, C.J. 2007. Factors affecting the prevalence of foot pad dermatitis, hock burn and breast burn in broiler chicken. *British Poultry Science* 48(3): 264–275.
- Kaukonen, E., Norring, M. & Valros, A. 2016. Effect of litter quality on foot pad dermatitis, hock burns and breast blisters in broiler breeders during the production period. *Avian Pathology* 45(6): 667–673.
- Kaukonen, E., Norring, M. & Valros, A. 2017. Broilerin jalkapohjan kuntoon vaikuttavat tekijät ja jalkapohjavaurioiden arviointi – kirjallisuuskatsaus. *Suomen Eläinlääkärilehti* 123(2): 73–77.
- Keskinen, R., Saastamoinen, M., Nikama, J., Särkijärvi, S., Myllymäki, M., Salo, T. & Uusi-Kämpä, J. 2017. Recycling nutrients from horse manure: effects of bedding type and its compostability. *Agricultural and Food Science* 26(2): 68–79.
- Miles, D.M., Rowe, D.E. & Cathcart, T.C. 2011. Litter ammonia generation: moisture content and organic versus inorganic bedding materials. *Poultry Science* 90(6): 1162–1169.
- Oladeinde, A., Cook, K., Orlek, A., Zock, G., Herrington, K., Cox, N., Lawrence, J.P. & Hall, C. 2018. Hotspot mutations and ColE1 plasmids contribute to the fitness of *Salmonella* Heidelberg in poultry litter. *PLoS One* 13(8): e0202286.
- Perkins, M.W., Wong, B., Tressler, J., Coggins, A., Rodriguez, A., Devorak, J. & Sciuto, A.M. 2016. Assessment of inhaled acute ammonia-induced lung injury in rats. *Inhalation Toxicology* 28(2): 71–9.
- Saastamoinen, M., Manni, K. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien ominaisuuksien vertailu. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). *Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 11–35.
- Saastamoinen, M., Särkijärvi, S. & Hyyppä, S. 2015. Reducing Respiratory Health Risks to Horses and Workers: A Comparison of Two Stall Bedding Materials. *Animals* 5: 965–977.
- Shepard, E.M. & Fairchild, B.D. 2010. Footpad dermatitis in poultry. *Poultry Science* 89(10): 2043–2051.
- Vapo. 2018. Irtokuiviketurpeen tuoteseloste 9/2018. Saatavilla: https://kauppa.vapo.fi/wp-content/uploads/2018/10/vapo_tuoteseloste_kuiviketurve-2018.pdf [Viitattu 2.12.2021]

- Welfare Quality®. 2009. Welfare Quality® assessment protocol for poultry (broilers, laying hens). Welfare Quality® Consortium, Lelystad, Netherlands. Saatavilla: <http://www.welfarequalitynetwork.net/media/1293/poultry-protocol-watermark-6-2-2020.pdf> [Viitattu 9.12.2021].
- Wilkinson, K.G., Tee, E., Tomkins, R.B., Hepworth, G. & Premier, R. 2011. Effect of heating and aging of poultry litter on the persistence of enteric bacteria. *Poultry Science* 90(1): 10–18.
- Williams, Z.T., Blake, J.P. & Macklin, K.S. 2012. The effect of sodium bisulfate on *Salmonella* viability in broiler litter. *Poultry Science* 91(9): 2083–2088.

3. Kuivikemateriaalien vertailu hevosilla

Markku Saastamoinen¹, Katariina Manni¹ ja Maarit Hellstedt²

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 2 C, 31600 Jokioinen

² Maa- ja metsätalousministeriö, PL 30, 00023 Valtioneuvosto

Tiivistelmä

Hevosten karsinoiden kuivituksessa verrattiin kutteripohjaista murukuiviketta, ruokohelpipellettiä ja tekstiilibrikettiä kuiviketurpeeseen Luonnonvarakeskuksen (Luke) Ypäjän koepaikalla Ypäjän Hevosopiston tallissa. Kokeen kesto oli kahdeksan viikkoa ja se tehtiin 12 suomenhevosella, kolme kullakin kuivikemateriaalilla. Hevoset olivat 9 m²:n yksilökarsinoissa, minkä lisäksi ne ulkoilivat tarhassa ja olivat ratsastuskäytössä. Olosuhde- ja kuivikkeiden kulutusmittausten lisäksi kuivikemateriaalien toimivuutta ja hevosten puhtautta seurattiin kokeen ajan kirjaamalla havainnot. Lisäksi arvioitiin subjektiivisesti kuivikkeiden käytettävyyttä.

Kokeen alussa kaikki koekarsinat tyhjennettiin ja niihin perustettiin koekäsittelyjen mukaiset kuivikepohjat. Turpeen määrässä noudatettiin tyypillistä karsinoiden aloituskuivitusmäärää. Murukuivikkeen ja ruokohelpipelletin ja käyttömäärät perustuivat valmistajien ohjeisiin. Tekstiilibriketin käyttömäärä laskettiin suhteessa turpeeseen laboratoriossa määritetyn nesteepidätyskyvyn perusteella. Tavoitteena oli, että kullakin kuivikkeella muodostuisi patja karsinan pohjalle. Siivouksessa vain selvästi erottuva sonta ja erityisen märät kuivikkeet poistettiin ja kuiviketta lisättiin tarpeen mukaan.

Turpeella todettiin olevan hyvä imukyky, kun taas tekstiilibriketin imukykyä pidettiin melko huonona. Murukuivikkeella, ruokohelpipelletillä ja turpeella muodostui karsinaan hyvä patja. Turvetta kului tilavuuden (m³) perusteella eniten johtuen sen selkeästi muita pienemmästä kuutiopainosta. Ruokohelpipellettiä ja murukuiviketta puolestaan kului vähiten. Koejakson puolivälissä ruokohelpipelletillä kuivitetut karsinat olivat huomattavan märkiä valmistajan antamalla ohjeellisilla käyttömäärillä, minkä vuoksi kuivitusta lisättiin. Kilomääräisesti laskettuna vähiten kului turvetta ja murukuiviketta ja eniten tekstiilibrikettiä.

Karsinoiden ammoniakkipitoisuudet mitattiin kerran viikossa karsinoihin asennetuilla mittareilla. Kuivikkeiden vaikutusta talli-ilman laatuun arvioitiin myös aistinvaraisesti arvioimalla niiden pölyävyyttä ja ammoniakin hajua karsinassa. Ilmaan vapautuneet ammoniakkipitoisuudet olivat hyvin pieniä kaikilla kuivikkeilla. Aistinvaraisesti arvioituna ilmanlaatu tallissa oli hyvä, mutta tekstiilibriketillä kuivitetuissa karsinoissa tuntui siivouksen yhteydessä ammoniakin hajua. Murukuivikkeen ja ruokohelpipelletin pölyävyys oli melko vähäistä, tekstiilibriketti puolestaan oli erittäin pölyävää.

Käytännön havaintojen perusteella turve, murukuivike ja ruokohelpipelletti olivat kuivikkeita, jotka oli helppo siivota, koska märät kohdat ja lanta erottuivat helposti kuivikkeen seasta. Tekstiilibriketillä kuivitetujen karsinoiden siivouksen todettiin olevan hankalaa erityisesti sen vuoksi, ettei märät kohdat erottuneet, se oli painavaa ja kuivikemateriaalia jäi kiinni talikkoon. Tekstiilibrikettien hajottua karsinoiden siivous helpottui hieman. Märästä tekstiilibriketistä irtosi väriä, joka voi tarttua hevosen karvapeitteeseen, jos se makaa märän kohdan päällä.

Asiasanat: kuivitus, kuiviketurve, ruokohelpipelletti, murukuivike, tekstiilibriketti, hevonen, talli

3.1. Johdanto

Hevosten tavallisin pitomuoto on karsinatalli, jossa jokainen hevonen on omassa karsinassaan. Yleistyvä pitotapa on pihatto tai hevosien erilaiset tarpeet paremmin huomioon ottava ”aktiivitali” -konsepti, jossa hevosella on ympäristössään erilaisia virikkeitä. Näissä pitotavoissa hevosilla on lepoa varten makuuhalli. Kuivikkeilla pidetään karsina ja makuuhallin alusta kuivana, lämpimänä ja pehmeänä, ja hevonen kuivana (McClain ym. 1997). Kuivike sitoo hevosten virtsan ja muut nesteet sekä virtsan ja sonnan kaasuja. Kuivikkeet vaikuttavat hevosien käyttäytymiseen, mm. makuu- ja lepokäyttäytyminen, ja virikkeellisyteen, sillä oljen syöminen on hevoselle ajanvietettä ja samalla se voi lisätä hevosien kuidun saantia (Werhahn ym. 2010, Kwiatkowska-Stenzel ym. 2016).

Kuivikkeita voidaan talleissa käyttää eri tavoin. Kuivikkeella voidaan tehdä makuualustalle patja, jonka päältä poistetaan päivittäin vain sonta. Kuiviketta lisätään alustan kuivuuden kannalta tarvittava määrä, jolloin patja kasvaa paksuutta. Koko kuivikepatja poistetaan 2–4 kertaa vuodessa. Tällainen kuivitustapa on yleinen pihatoissa ja talleissa, jotka on rakennettu tämä kuivitustapa huomioiden. Puolipatjakuivituksessa sonnan lisäksi päivittäin poistetaan myös virtsaa imenyt märkä osa kuivikepatjasta, ja uutta kuiviketta lisätään tarvittaessa. Kolmannessa käytännössä sonta ja virtsa poistetaan karsinasta huolellisesti päivittäin ja karsinapohja käännetään ympäri. Uutta kuiviketta lisätään poistetun tilalle, mikä lisää kuivikkeen kulutusta edellisiin käytäntöihin verrattuna.

Suomessa yleisimmät hevostallien kuivikemateriaalit ovat turve ja kutterinlastu sekä maataloilla ja varsoilla tammoilla myös viljan olki, joka on yleensä kauran tai vehnän olkea. Hevosala on määrällisesti merkittävin kuiviketurpeen käyttäjä. Turpeen vuosittainen kulutus hevosten kuivikkeena on noin 370 000–400 000 m³ ja turpeen osuus on 42–46 % talleissa käytetyistä kuivikkeista (Aro ym. 2021). Lisäksi kuivikkeina käytetään olkipellettiä, sahanpurua, puupellettiä ja hamppua. Olkipelletti ja osin hamppu tuodaan ulkomailta. Kirjallisuuden mukaan hevosilla on tutkittu paperi- ja pellavasilppua sekä erilaisia kuorimateriaaleja (riisi, maapähkinä). Suomessa Biolan Oy on tutkinut rahkasammalta ja biokuitua.

Eri kuivikemateriaalit eroavat toisistaan ominaisuuksiltaan, kulutukseltaan sekä käytettävyydeltään. Hevosten suorituskyvylle ja terveydelle on tärkeää, että kuivikemateriaali tukee niiden hengitysteiden terveyttä (Mönki ym. 2021). Kuivikkeiden hygieeninen laatu on myös tärkeää, koska homepölystä aiheutuu ongelmia niin hevosille kuin ihmisille (Airaksinen ja Heiskanen, 2019; Saastamoinen ym. 2015). Hyvä kuivike sitoo hyvin nestettä ja ammoniakkaa, sen mikrobiologinen laatu on hyvä eikä se pölyä. Lisäksi se on helppo varastoida ja kuljettaa, sitä on helposti saatavilla ja se on käytössä edullinen. Tärkeä ominaisuus on myös kuivikkeen kompostoituminen, joka vaikuttaa kuivikelannan jatkokäyttöön (Swinker ym. 1997, Airaksinen ym. 2001; Keskinen ym. 2017). Käytännössä kaikki hevosen lanta hyödynnetään peltoviljelyssä tai puutarhataloudessa, ja muilla kuin maataloilla toimivilta talleilta se luovutetaan näihin tarkoituksiin (Luostarinen ym. 2017). Lannan varastointi sekä hävitys- ja poistokustannus on talleille huomattava kustannuserä, joka muodostuu kuljetuksesta ja mahdollisista vastaanottajien maksuista (Manninen ym. 2016). Hevosienlannalla on todettu myös olevan hyvä biokaasupotentiaali (Wartell ym. 2012, Tampio ym. 2014), mutta Suomessa hevosenlantaa ei hyödynnetä tässä tarkoituksessa.

Turpeen kuivikeominaisuudet ovat hyvät, ja sen on todettu monissa hevosilla tehdyissä tutkimuksissa täyttävän edellä mainitut ominaisuudet (Saastamoinen 2011, Saastamoinen ym. 2015), tosin turpeenkin hygieeninen laatu vaihtelee (Airaksinen ym. 2005). Kuivikemateriaali

vaikuttaa myös siihen, kuinka suuren osan karsinassa viettämästään ajasta hevonen viettää kylkimakuulla ja saa näin leväytyä riittävästi, ja oljen on todettu olevan tämän suhteen hevoselle sopivin kuivike (Ladewig ym. 2004, Bachhausen ym. 2010). Joihinkin kuivikemateriaaleihin, kuten olkeen ja olkipelletteihin, saattaa liittyä haittana se, että hevoset saattavat syödä niitä etenkin, jos kyseessä on kovin ahne hevonen, ja jonka energiansaantia pyritään rajoittamaan (Curtis ym. 2011, Nieminen, 2012).

Ilmastopoliittisten päätösten seurauksena Suomessa tullaan vähentämään turpeen energiakäyttöä. Jo nyt päästöoikeuden kohonnut hinta ja korkea verotus ovat nostaneet energiaturpeen hintaa ja vähentäneet sen käyttöä nopeasti. Energiaturpeen noston väheneminen vähentää myös suon pintakerroksista saatavan kuiviketurpeen saatavuutta ja nostaa sen hintaa.

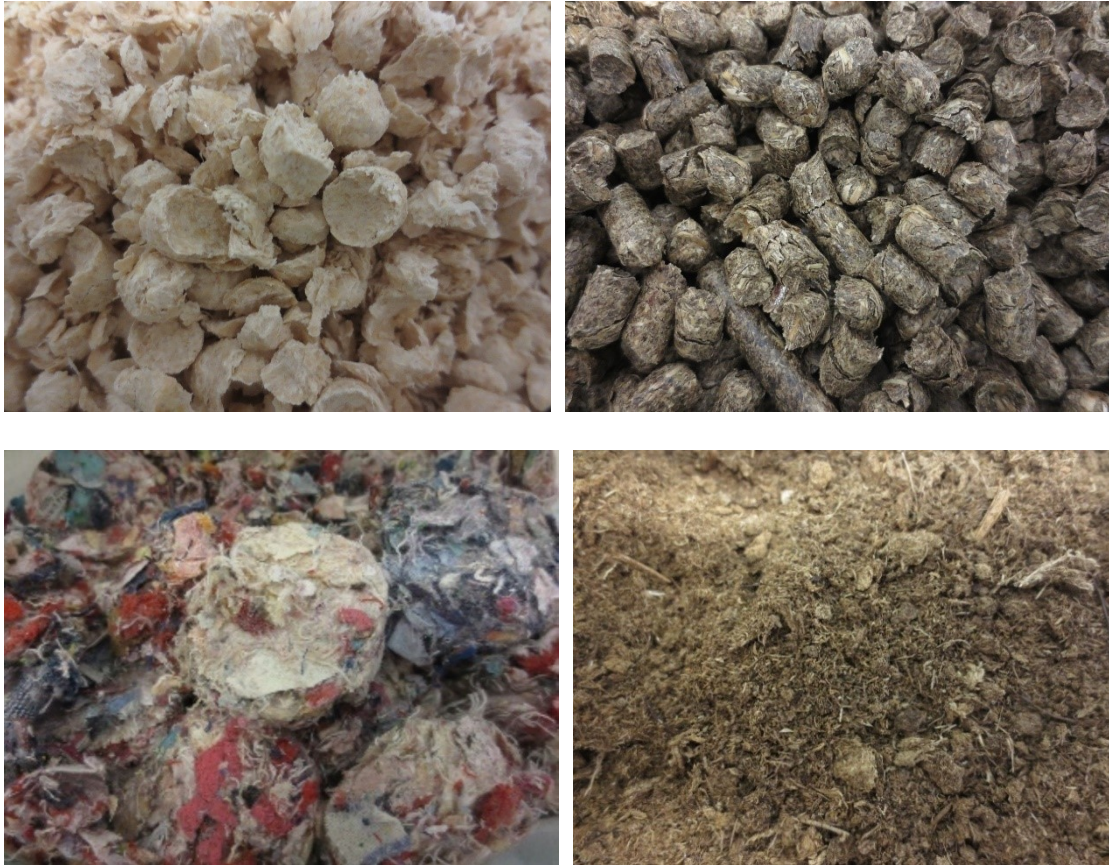
Koska turpeella on ominaisuuksiensa vuoksi suuri merkitys hevosten kuivikemateriaalina, tarvitaan sille lähitulevaisuudessa korvaajia. Tämä tutkimuksen tavoitteena oli tutkia muutamien potentiaalisten turvetta korvaavien kuivikemateriaalien ominaisuuksia ja toimivuutta hevosilla käytännön talliolosuhteissa. Kontrollina oli turvekuivitus.

3.2. Aineisto ja menetelmät

3.2.1. Kuivikemateriaalien valinta

Ennen käytännön olosuhteissa tehtyä kuivikemateriaalien vertailua verrattiin 16 eri kuivikemateriaalin ominaisuuksia laboratoriomittakaavassa tehdyissä testeissä. Laboratoriotesteissä oli turpeen lisäksi korsimateriaaleja, puunjalostus- ja myllyteollisuuden sivujakeita sekä tekstiilijätettä. Laboratoriokokeissa selvitettiin kuivikemateriaalin ominaisuuksia, mm. nesteen pidättyminen, ravinteiden pidättyminen, kaasujen sitominen ja hajunsitominen. Nämä tulokset on raportoitu erillisessä artikkelissa (Saastamoinen ym. 2022). Ensisijaisesti näiden laboratoriotutkimusten perusteella valittiin kuivikemateriaalit hevosilla tehtyyn kuivikemateriaalien vertailuun. Lisäksi valintaan vaikutti kuivikkeiden saatavuus sekä käytännön koetta varten että saatavuuspotentiaali käytännön hevostalouden tarpeisiin.

Kuivikevertailuun valittiin puupohjainen murukuivike, ruokohelpipelletti ja tekstiilibriketti sekä kontrolliksi kuiviketurve (Kuva 1). Potentiaalisista, laboratoriokokeissa hyväksi materiaaleiksi osoittautuneista ja alun perin hevoskokeeseen suunnitelluista kuivikevaihtoehdoista jouduttiin jättämään pois mm. osmankäämi ja rapsiolkislippu, koska niitä ei saatu kokeessa tarvittavaa määrää. Murukuivike on 100 % puupohjainen kaupallinen kuivikepuriste (Vapo Oy, nyk. Neova Oy), joka on valmistettu kuorettomasta havu- ja lehtipuusta. Myös ruokohelpipelletti on kaupallinen tuote (Penerg Oy) ja valmistettu 100 % ruokohelpisilpusta. Tekstiilibriketti oli käsin lajiteltua puuvillatekstiiliä (tekstiilijätettä), joka oli briketöity. Sen toimitti Saimaan Virta ry.



Kuva 1. Turvetta korvaavien kuivikemateriaalien vertailussa käytetyt materiaalit vasemmalta oikealle: ylhäällä murukuivike ja ruokohelpipelletti, alhaalla tekstiilibriketti ja kontrollina käytetty turve. Kuvat: Luke/Katariina Manni.

3.2.2. Vertailun toteutus ja koehevokset

Kuivikemateriaalien vertailu tehtiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) Ypäjän koepaikalla Ypäjän Hevosopiston tallissa (II-Talli). Kokeen kesto oli kahdeksan viikkoa ja se toteutettiin aikavälillä 5.10.–27.11.2020. Kokeessa oli 12 suomenhevostammaa, kolme kullakin kuivikemateriaalilla. Hevoset pidettiin 9 m²:n yksilökarsinoissa, ja ne pääsivät ulkoilemaan keskimäärin neljä tuntia päivässä hiekkapohjaisissa tarhoissa. Lisäksi ne olivat ratsastuskäytössä 1–2 h päivässä. Karsinassa oloaika oli siten noin 18–19 h vuorokaudessa, mikä vastaa käytännössä hevosten tavanomaista aikaa, jonka ne ovat tallissa (Mönki ym. 2021).

Kokeen alussa kaikki koekarsinat tyhjennettiin ja niihin perustettiin koekäsittelyjen mukaiset kuivikepohjat (Kuva 2). Turpeen määrässä noudatettiin tyypillistä karsinoiden aloituskuivitusmäärää, joka kyseisen kokoisissa karsinoissa on 1 m³. Turpeen kuutiopainon perusteella lasketuna määräksi tuli 150 kg/karsina. Murukuivikkeen ja ruokohelpipelletin käyttömäärät perustettiin valmistajien suosituksiin. Molemmilla ohjeellinen käyttömäärä oli 150 kg/karsina. Koska tekstiilibriketin käytöstä kuivikemateriaalina ei ollut aiempaa kokemusta, sen käyttömäärä laskettiin suhteessa turpeeseen laboratoriossa määritetyn nesteensitomiskyvyn (kg vettä/kg kuiviketta) perusteella, jolloin tekstiilibriketin laskennallinen käyttömäärä oli 160 kg/karsina.



Kuva 2. Aloituskuiivitus vertailussa olleilla kuivikemateriaaleilla. Vasemmalta oikealle ylhäällä murukuivike ja ruokohelpipelletti, alhaalla tekstiilibriketti ja kontrollina ollut turve. Kuvat: Luke/Marianna Myllymäki.

Tavoitteena oli, että kullakin kuivikkeella muodostuisi patja karsinan pohjalle. Tämän vuoksi karsinoiden siivouksen yhteydessä vain selvästi erottuva sonta ja erityisen märät (virtsaiset) kuivikkeet poistettiin, muu kuivike jätettiin karsinaan.

Karsinat siivottiin päivittäin ja kuiviketta lisättiin tarpeen mukaan. Niinä päivinä, joina karsinaan ei tuotu uutta kuiviketta, siellä olevaa kuivaa kuiviketta levitettiin niihin kohtiin, joista kuivikelantaa oli viety pois. Ohjeellisena suosituksena oli, että turvetta ja tekstiilibrikettiä lisättiin päivittäin, ja ruokohelpipellettiä ja murukuiviketta kolme kertaa viikossa (ma, ke ja pe). Ohjeellisina käyttömäärinä oli turvetta 10 kg/päivä, tekstiilibrikettiä 11 kg/päivä, murukuiviketta kuivitus kolme kertaa viikossa 10 kg/kerta ja ruokohelpipellettiä kuivitus kolme kertaa viikossa 5 kg/kerta. Murukuivikkeen ja ruokohelpipelletin käyttösuositukset perustuivat valmistajien antamiin ohjeisiin, tekstiilibriketin käyttö perustui sen nesteidenpidätyskykyyn suhteutettuna turpeeseen. Kontrollina olleen turpeen käyttösuositus oli sen tyyppinen käyttömäärä.

Murukuivikkeen, ruokohelpipelletin ja tekstiilibriketin käyttömäärät hevosta kohti laskettiin toimitetun ja jäljelle jääneen kuivikemäärän erotuksena, joka jaettiin hevosten määrällä. Kuiviketurpeen käyttömäärät kirjattiin ylös karsinakohtaisesti koko kokeen ajan ja niiden perusteella laskettiin keskimääräinen kulutus per hevonen. Lisäksi kuivikemateriaalien toimivuutta ja hevosten puhtautta seurattiin koko kokeen ajan ja kaikki havainnot kirjattiin ylös. Havaintoja dokumentoitiin myös valokuvina.

3.2.3. Olosuhteiden mittaus, näytteiden otto ja analysointi

Karsinakohtainen vapautuneen ammoniakkin (NH_3) mittaus tehtiin Drägerin pac 7000 –mittareilla (Kuva 3). Mittaustarkkuus kyseisellä laitteella oli 1 ppm ja vasteaika 10 s. Mittareita oli käytettävissä 10 kpl. Ne kiinnitettiin mittauksen ajaksi karsinoiden seinään karsinan takaosaan keskimäärin 142 cm:n korkeudelle ja suojattiin seinään kiinnitettävällä suojakuvulla (Kuva 3).



Kuva 3. Ilman ammoniakkipitoisuuden mittauksessa käytetty mittauslaite ja suojakuppu. Kuvat: Luke/Katariina Manni.

Karsinailman ammoniakkimittaukset tehtiin kerran viikossa aina torstaista perjantaihin koko kokeen ajan. Kunkin mittauskerran kesto oli noin vuorokausi. Mittarit asennettiin karsinoihin torstaiaamuisin ja otettiin pois perjantaisin karsinoiden siivouksen ja kuivituksen jälkeen. Ammoniakkipitoisuuden mittausväliksi asetettiin yksi minuutti. Ensimmäisellä mittauskerralla jokaisessa ruokohelpipelletti-, murukuivike- ja tekstiilibrikettikarsinassa ja yhdessä turvekarsinassa oli mittari. Toisella mittauskerralla yksi mittari siirrettiin tekstiilibrikettikarsinasta turvekarsinaan, jolloin toisesta mittauskerrasta lähtien kokeen loppuun saakka kahdessa tekstiilibriketti- ja kahdessa turvekarsinassa oli mittarit, samoin jokaisessa ruokohelpipelletti- ja murukuivikekarsinassa. Sama mittari asennettiin jokaisella kerralla samaan karsinaan. Jokaisen mittauskerran päätyttyä mittarit laitettiin tiedonsiirtomoduuliin, josta mittauksiedot purettiin tietokoneelle. Tiedot luettiin Gas Vision 6.0.4 –ohjelmistolla, josta ne siirrettiin excel-taulukkoon.

Tallin lämpötila ja ilmankosteus mitattiin koko kokeen ajan automaattisilla dataloggereilla (EL-USB-2-LCD+), joiden mittausväliksi asetettiin yksi tunti. Kolme loggeria sijoitettiin tallin käytävälle, kaksi kokeessa reunimmaisina olevien karsinoiden kohdalle ja yksi keskelle. Niiden etäisyys lattiasta mitattuna oli noin kaksi metriä. Kokeen päätyttyä dataloggereille kertyneet tiedot purettiin tietokoneelle EasyLog USB –ohjelmalla. Lisäksi lämpötilaa seurattiin tavanomaisella huonelämpömittarilla.

Kuivikkeiden vaikutusta talli-ilman laatuun arvioitiin mitatun ammoniakkipitoisuuden lisäksi niiden pölyävyydellä. Se arvioitiin aistinvaraisesti ja havainnot kirjattiin. Erityistä huomiota kiinnitettiin kuivikemateriaalien pölyävyyteen niitä käsiteltäessä.

Kokeessa olleista kuivikemateriaaleista otettiin näytteet kokeen alussa ja kuivikelannasta kokeen lopussa (noin litra/kuivikemateriaali) myöhempiä laboratorioanalyysyjä varten. Niistä analysoitiin kuiva-aine, pH, kokonaistyyppi, ammoniumtyyppi ja kokonaisfosfori. Kuivikemateriaaleista otettuja näytteitä säilytettiin huoneilmassa ennen analysointia. Kuivikelantanäytteitä

varten karsinoista kerättiin siivouksen yhteydessä poistettu kuivikelanta karsinakohtaisiin muovisiin laatikoihin jokaisen koeviikon perjantaina neljän viikon ajan (Kuva 4). Kokeen lopussa laatikoihin varastoiduista kuivikelannoista otettiin laboratorioanalyysiin menevät kuivikelanta-näytteet. Lisäksi kustakin laatikosta otettiin kuivikelantaa (noin viisi litraa/kuivikemateriaali) myöhempää astiakoetta varten, jossa selvitettiin kuivikelannan tyypin hyväksikäyttöä lannoite-käytössä. Laatikoista kerätyt kuivikelantanäytteet ja kuivikelannat astiakoetta varten varastoitiin pakastamalla -20°C :ssa.



Kuva 4. Karsinakohtaiset laatikot, joihin varastoitiin kokeen aikana kertynyttä kuivikelantaa, ja joista otettiin kokeen lopussa analyysinäytteet ja kerättiin kuivikelantaa astiakoetta varten. Kuvat: Luke/Katariina Manni.

3.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

3.3.1. Tallin lämpötila ja ilmankosteus

Koekarsinoiden alueelta kokeen ajalta mitattu talli-ilman lämpötila oli keskimäärin $10,2^{\circ}\text{C}$ ja ilmankosteus $78,1\%$. Alin mitattu lämpötila oli $1,5^{\circ}\text{C}$ ja ylin $16,5^{\circ}\text{C}$. Alin mitattu ilmankosteusluku puolestaan oli 56% ja ylin 95% .

Eri paikkoihin tallin käytävälle karsinoiden ulkopuolelle sijoitettujen loggereiden välillä ei ollut merkittäviä eroja ilman lämpötilassa eikä ilmankosteudessa. Koko kokeen ajalta lasketut keskimääräiset loggerikohtaiset ilman lämpötilat olivat 11 , 10 ja 9°C . Ilmankosteudet olivat vastavasti 78 , 77 ja 81% . Näin ollen voidaan todeta, että talli-ilman lämpötilassa ja ilmankosteudessa ei ollut eroja karsinoiden välillä, joka olisi voinut vaikuttaa karsinan olosuhteisiin. Tallin keskilämpötilat olivat tallien tavoitearvojen (8 – 12°C) sisällä (Saastamoinen 2017), mutta kosteuspi-toisuudet olivat korkeahkoja verrattuna tavoitearvoihin (50 – 65%).

3.3.2. Kuivikemateriaalien käyttömäärät

Kuivikkeiden käyttömäärät laskettiin sekä kokonaismäärinä seurantajakson ajalta että keskimääräisinä päiväkohtaisina määrinä, ja ne on esitetty sekä kiloina että kuutioina Taulukoissa 1 ja 2. Ennen tätä kuivikevertailua oli määritetty kuivikemateriaalien tilavuuspainot, jotka on esitetty Taulukossa 2. Näitä tuloksia käytettiin laskettaessa tilavuuteen perustuvat kuivikkeiden käyttömäärät.

Taulukko 1. Kuivikkeiden käyttömäärät kiloina koejaksolla ja keskimääräisinä päiväkohtaisina määrinä. Koejakson pituus oli 54 pv.

Kuivikemateriaali	Turve	Muru-kuivike	Ruokohelpipelletti	Tekstiilibriketti
Kuivikkeen kulutus koejaksolla, kg/hevonen				
Aloituskuiivitus	152	152	153	164
Kuivitus	287	289	322	470
Kuivikkeen kokonaiskulutus	439	441	474	633
Keskimääräinen kuivikkeen kulutus, kg/pv				
Kuivitus	5,3	5,3	6,0	8,7
Kuivikkeen kokonaiskulutus	8,1	8,2	8,8	11,7

Taulukko 2. Kuivikkeiden käyttömäärät kuutioina koejaksolla ja keskimääräisinä päiväkohtaisina määrinä. Koejakson pituus oli 54 pv.

Kuivikemateriaali	Turve	Muru-kuivike	Ruokohelpipelletti	Tekstiilibriketti
Tilavuuspaino, kg/m ³	150	519	604	250 ¹⁾
Kuivikkeen kulutus koejaksolla, m ³ /hevonen				
Aloituskuiivitus	1,0	0,3	0,3	0,7
Kuivitus	1,9	0,6	0,5	1,9
Kuivikkeen kokonaiskulutus	2,9	0,8	0,8	2,5
Keskimääräinen kuivikkeen kulutus, m ³ /pv				
Kuivitus	0,035	0,010	0,010	0,035
Kuivikkeen kokonaiskulutus	0,054	0,016	0,015	0,047

1) Tieto saatu toimittajalta, Saimaan Virta 2020.

Tarkasteltaessa kuivikkeiden kokonaiskulutusta, jossa mukana oli sekä perustamiskuiivitus että kuivituksessa käytetty kuivikkeen määrä, kilomääräisesti vähiten kului turvetta ja murukuivikettä ja eniten tekstiilibrikettiä.

Kuivikkeiden käyttömääriin vaikuttaa erityisesti niiden kyky sitoa nestettä. Mitä parempi nesteidenpidätyskyky on, sitä vähemmän kuiviketta yleensä kuluu. Kyseisessä kuivikemateriaalien vertailussa turvetta ja murukuivikettä kului vähemmän kuin ruokohelpipellettiä ja tekstiilibrikettiä. Turpeen osalta ero selittyy suurelta osin sen erinomaisella nesteidenpidätyskyvyllä. Ennen tätä kuivikevertailua mitattiin laboratorio-olosuhteissa kuivikemateriaalien nesteidenpidätyskyky, joka oli turpeella 3,6 kg, murukuivikkeella ja ruokohelpipelletillä 2,5 kg ja tekstiilibriketillä 2,2 kg vettä/kg kuivikettä. Vaikka murukuivikkeen nesteidenpidätyskyky laboratoriomittausten perusteella oli jonkin verran huonompi kuin turpeella, sen kuivikeominaisuudet olivat hyvät eikä sen käyttömäärä eronnut turpeesta.

Ruokohelpipellettiä kului jonkin verran murukuiviketta enemmän, vaikka valmistajan käyttösuositus ruokohelpipelletille oli huomattavasti pienempi, kuin mikä oli murukuivikkeen valmistajan käyttösuositus murukuivikkeelle. Kuivitus ruokohelpipelletillä, samoin kuin murukuivikkeella, aloitettiin valmistajien suosittelimilla käyttömäärillä. Kokeen puolivälin aikoihin ruokohelpipelletillä kuivitetut karsinat alkoivat olla märempiä kuin muilla materiaaleilla kuivitetut, jolloin kuivikepatjaa jouduttiin poistamaan suurempia määriä. Ruokohelpipelletin nesteepidätyskapasiteetti siis täyttyi, ja sen käyttömäärää jouduttiin lisäämään. Tämä lisäsi huomattavasti ruokohelpipelletin kulutusta kokeen loppua kohden. Koejakson aikana ruokohelpipellettiä kului kuivitukseen lähes kolminkertainen määrä valmistajan suosittelemaan käyttömäärään nähden. Myös murukuiviketta kului hieman valmistajan suositusta enemmän, keskimäärin kilo enemmän päivää kohden laskettuna. Kokeesta saadun kokemuksen perusteella valmistajan suosittelemaa ruokohelpipelletin käyttömäärää kuivituksessa voidaan pitää liian pienenä. Tämän kokeen tulosten perusteella ei voida arvioida kuivitukseen tarvittavaa ruokohelpipelletin määrää, koska kuivitus aloitettiin liian pienellä määrällä, minkä seurauksena käyttömäärä loppussa lisääntyi merkittävästi.

Tekstiilibriketin nesteepidätyskyky oli muihin kuivikemateriaaleihin verrattuna huonompi. Se selittää osittain muita kuivikemateriaaleja suuremman käyttömäärän, vaikka ero erityisesti murukuivikkeeseen verrattuna oli melko pieni. Toinen tekijä, joka todennäköisesti vaikutti tekstiilibriketin muita kuivikkeita suurempaan kulutukseen, oli se, että kuivikepatjan märät kohdat eivät erottuneet kunnolla, ja ulosteita oli vaikea erotella kuivikkeen seasta, jolloin kuiviketta meni hukkaan. Kuvassa 5 näkyy eri kuivikemateriaaleilla kuivitetut karsinat ennen karsinoiden siivousta.



Kuva 5. Eri kuivikemateriaaleilla kuivitetut karsinat ennen siivousta. Vasemmalta oikealle ylhäällä murukuivike ja ruokohelpipelletti, alhaalla tekstiilibriketti ja kontrollina ollut turve. Kuvat: Luke/Marianna Myllymäki.

Tarkasteltaessa tilavuuteen perustuvia kuivikkeiden käyttömääriä turvetta kului kuutioina laskettuna eniten johtuen sen selkeästi muita pienemmästä kuutiopainosta. Ruokohelpipellettiä ja murukuiviketta puolestaan kului vähiten. Tilavuuteen perustuvilla kuivikemäärillä on vaikutusta erityisesti kuivikkeiden vaatimaan varastointitilaan ja kuivituksessa käytettyjen laitteiden kapasiteettiin. Huomioitavaa kuitenkin on, että esitetyt tilavuuspainot on mitattu niin, että materiaalia ei ole tiivistetty. Siten se ei vastaa kyseisten materiaalien tiivistettyjä varasto- ja kuljetustilavuuspainoja. Lisäksi tilavuuspaino vaikuttaa kuivikkeiden hankintakustannuksiin, mikäli kuivikkeet ja niiden rahti hinnoitellaan tilavuusperusteisesti. Kulutusmääriä tarkasteltaessa on huomioitava myös kuivitustapa; tässä kokeessa tarkoituksena oli muodostaa patja, jolloin vain selvästi erottuva sonta ja erityisen märät (virtsaiset) kuivikkeet poistettiin ja muu kuivike jätettiin karsinaan.

3.3.3. Talli-ilman ammoniakkipitoisuus

Mitatut ilmaan vapautuneet ammoniakkipitoisuudet olivat hyvin pieniä, ja osassa karsinoita pitoisuudet olivat alle mittausrajan 1 ppm (Kuva 6). Myöskään kuivikemateriaalien välillä ei havaittu eroja ilmaan vapautuneen ammoniakin määrissä. Ammoniakkipitoisuus talli-ilmassa ei saa ylittää 10 ppm kuin satunnaisesti (MMM 2015) ja kaikilla kuivikemateriaaleilla pitoisuudet pysyivät pääosin tämän raja-arvon alapuolella. Kirjallisuudessa 10 ppm on todettu hevoselle haitalliseksi ammoniakkipitoisuudeksi (Zeitler-Feicht ym. 2015). Ainoastaan yhdessä turve- ja yhdessä murukuivikekarsinassa kyseinen raja-arvo ylittyi, mutta niissäkin vain hetkellisinä, yksittäisinä havaintoina. Epävirallinen suositusarvo hevostallin ilman ammoniakkipitoisuudelle on, että sen tulisi olla alle 5 ppm (Saastamoinen 2017). Kaikilla kuivikemateriaaleilla jäätiin myös tämän suositusarvon alle hetkellisiä, yksittäisiä yhden turve- ja yhden murukuivikekarsinan ylityksiä lukuun ottamatta. Mittaustulosten perusteella karsinoiden ilman ammoniakkipitoisuudet eivät myöskään nousseet niiden siivouksen aikana.

Ammoniakkipitoisuuden mittaaminen talliolosuhteissa on haasteellista. Pelkästään mittarin sijainnilla karsinassa saattaa olla vaikutusta mittaustuloksiin, sillä ilmavirtaus karsinoissa ja karsinan eri kohdissa ja eri korkeudessa saattaa olla erilainen. Myös hevosten virtsaamiskohdat ja niiden etäisyys mittarista sekä hevosten liikkumisaktiivisuus karsinassa voivat vaikuttaa yksittäisen mittaushetken tuloksiin. Näin ollen mitatut tulokset ovat vain suuntaa antavia. Aistinvaraisesti arvioituna ilmanlaatu tallissa oli hyvä, mikä on yhdenmukainen havainto sen kanssa, ettei suuria ammoniakkipitoisuuksia mitattu kuin muutama yksittäinen lukema. Ammoniakkipitoisuudet voivat kohota tallin kosteus- ja lämpötilan kohotessa (Pratt ym. 2002). Tämän kokeen aikana tallin keskilämpötilat 9–11 °C olivat tallien tavoitearvojen 8–12 °C sisällä (Saastamoinen 2017), mutta kosteus- ja lämpötilat 77–81 % olivat korkeahkoja verrattuna tavoitearvoihin 50–65 %.



Kuva 6. Karsinoista mitatut ammoniakkipitoisuudet eri kuivikemateriaaleilla.

Huomattavaa kuitenkin on, että erityisesti tekstiilibriketillä kuivitetujen karsinoiden sanallisissa kommentoissa oli mainittu muihin kuivikemateriaaleihin verrattuna voimakkaampaa ammoniakkin hajua karsinoiden siivouksen yhteydessä. Myös murukuivikkeella kuivitetuissa karsinoissa oli mainintoja ammoniakkin hajusta. Tosin ammoniakkin hajukynnys ihmisellä vaihtelee paljon tyypillisen vaihteluvälin ollessa 5–50 ppm (TTL 2021). Tekstiilibriketin osalta havainto ammoniakkin hajusta on kuitenkin yhdenmukainen tämän hankkeen laboratoriokokeissa saatujen ammoniakkin pidättymistulosten ja hajunsitomismittausten tulosten kanssa. Laboratoriokokeissa havaittiin, että liete-tekstiilibrikettiseoksesta vapautui enemmän ammoniakkaa kuin lietteen ja ruokohelven ja murukuivikkeen seoksista (Saastamoinen ym. 2022). Turpeeseen verrattuna sekä ruokohelpipelletin että murukuivikkeen hajunsitomiskyky oli turvetta parempi, kun taas tekstiilibriketin hajunsitomiskyky oli kolmen ensimmäisen mittauspäivän jälkeen turvetta huonompi (Saastamoinen ym. 2022).

Kuiviketutkimuksissa ja -vertailuissa paras talli-ilman laatu ja vaikutukset hevosten hengitystie-terveyteen on todettu olevan turpeella ja huonoin tavallisesti oljella ja puupohjaisilla kuivikkeilla (Saastamoinen ym. 2015, Mönki ym. 2021, Bambi ym. 2018), mutta myös talliympäristön lämpö- ja kosteusolosuhteet vaikuttavat (Pratt ym. 2002).

3.3.4. Havainnot kuivikkeiden käyttöominaisuuksista

Käyttökokemuksia ja havaintoja kuivikemateriaalien ominaisuuksista pyydettiin kirjaamaan kokeen aikaiseen tallipäiväkirjaan. Käyttöominaisuuksissa oli kuivikkeiden välillä selviä eroja. Turpeella, murukuivikkeella ja ruokohelpipelletillä kuivitetut karsinat oli helppo siivota, koska märät kohdat ja sonta erottuivat helposti kuivikepatjassa. Tämän puolestaan todettiin vaikuttavan kuivikkeiden kulutukseen. Kun sonta ja virtsaiset kohdat oli helppo erotella kuivikkeesta, ei puhdasta kuiviketta jouduttu poistamaan karsinasta, jolloin kuiviketta säästy.

Tekstiilibriketillä kuivitetujen karsinoiden siivouksen todettiin olevan hankalaa erityisesti sen vuoksi, ettei märät kohdat erottuneet ja kuivikemateriaalia jäi kiinni talikkoon. Tekstiilibrikettien (kooltaan noin 4×4 cm, paksuus n. 2 cm) ollessa vielä ehjiä, niitä joutui sonnan mukana talikkoon. Ellei niitä erotellut käsin, kuiviketta meni paljon hukkaan. Tekstiilibrikettien hajottua karsinoiden siivous helpottui hieman. Märkien kohtien poisto talikolla oli kuitenkin edelleen hankalaa. Kuivike itsessään oli myös painavaa.

Karsinoihin muodostui hyvä patja murukuivikkeella, ruokohelpipelletillä ja turpeella. Ruokohelpipelletit hajosivat melko nopeasti, mikä edesauttoi patjan muodostumista. Koostumukseltaan sitä pidettiin turvemaisena. Murukuivikkeella patja ei muodostunut yhtä nopeasti kuin ruokohelpipelletillä.

Turpeella todettiin olevan hyvä nesteenpidätyskyky. Tekstiilibriketin imukykyä pidettiin melko huonona. Kokeen puolivälissä ruokohelvellä kuivitetut karsinat olivat huomattavan märkiä, minkä seurauksena kuiviketta jouduttiin poistamaan karsinoista normaalia enemmän ja kuivitusta lisäti. Ruokohelpipelletin käyttömäärästä todettiin, että valmistajan ohjeistuksen mukainen käyttömäärä oli liian pieni.

Kuivikemateriaaleja käsiteltäessä murukuivikkeen ja ruokohelpipelletin pölyvyys oli melko vähäistä, tekstiilibriketti puolestaan oli erittäin pölyvää. Tekstiilibriketin pölyä kertyi huomattavia määriä karsinoiden rakenteisiin ja juoma-automaatin veden pintaan (Kuva 7). Lisäksi kostuneesta tekstiilibriketistä irtosi väriä, joka voi tarttua hevosen karvapeitteeseen, jos hevonen maa märän kohdan päällä.



Kuva 7. Tekstiilibriketistä irronnutta pölyä karsinan rakenteissa, vesikupin pinnalla ja nuolukiven päällä. Kuvat: Luke/Marianna Myllymäki (vasemmalta kaksi ensimmäistä) ja Luke/Katariina Manni (oikealla reunimmainen).

3.3.5. Kuivikemateriaalien ja kuivikelantojen koostumus

Kuivikkeista ja kuivikelannoista otettiin näytteet laboratorioanalyysyä varten. Niistä analysoitiin kuiva-aine, ammoniumtyppi, kokonaistyyppi, kokonaisfosfori ja pH (Taulukko 3).

Taulukko 3. Kuivikemateriaalien ja kuivikelantojen koostumus.

	Ruokohelpi- pelletti	Muru- kuivike	Tekstiili- briketti	Turve
Kuivikemateriaali				
Kuiva-aine (ka), %	87	92	96	65
Ammoniumtyppi, g/kg	0,10	0,01	0,04	0,05
Kokonaistyyppi, g/kg	5,89	0,55	2,49	5,64
Fosfori, g/kg	0,88	0,01	0,01	0,22
pH	5,6	5,0	6,4	3,5
Kuivikelanta				
Kuiva-aine, %	27	28	35	23
Ammoniumtyppi, g/kg	0,23	0,34	0,04	0,36
Kokonaistyyppi, g/kg	3,82	2,98	3,01	3,84
Fosfori, g/kg	1,15	0,89	1,04	0,78
pH	8,7	9,0	8,3	7,1

Keskinen ym. (2017) raportoivat tuoreelle hevosen kuivikelannalle, joka sisälsi turvetta, kutte-rinlastua tai olkipellettiä, tyyppipitoisuuksiksi 14,3, 10,2 ja 14,8 g/kg em. järjestyksessä ja fosforipitoisuuksiksi 2,2, 2,0 ja 2,7 g/kg em. järjestyksessä. Keskinen ym. (2017) raportoimat typpi- ja fosforipitoisuudet olivat siten korkeammat kuin tässä kyseessä olevassa tutkimuksessa määritetyt pitoisuudet (Taulukko 3). Pitoisuuksiin vaikuttaa luonnollisesti ruokinta ja sen tarkkuus (mm. Saastamoinen ym. 2020 Saastamoinen ym. 2021) ja myös kuivikemateriaalin ja sonnan ravinnepitoisuudet sekä sonnan, virtsan ja kuivikemateriaalien väliset suhteet. Kompostoituminen nostaa fosfori- ja typpipitoisuuksia (Keskinen ym. 2017).

Lannassa olevat typpi ja etenkin fosfori ovat herkkiä huuhtoutumiselle (Airaksinen, 2006, När-vänen ym. 2008). Tyyppiä voi lantavarastoista vapautua myös kaasuina (Maljanen ym. 2016). On oletettavaa, että etenkin ammoniumtyppiä on jo tallissa haihtunut talli-ilmaan varsinkin tekstiilibrikettipatjasta, mitä tukee havaittu ammoniakki-haju tekstiilibriketillä kuivitetuissa karsinoissa. Myös laboratoriokokeessa lietelanta-tekstiilikuituseoksesta vapautui enemmän ammoniakki kuin muiden kuivikkeiden seoksista (Saastamoinen ym. 2022).

Sekä tämän tutkimuksen että kirjallisuuden perusteella hevosenlannan typpipitoisuus on alhainen, mikä heikentää sen arvoa lannoitteena. Tässä kuivikevertailussa olleiden kuivikelantojen lannoitusvaikutusta tutkittiin Salon ym. (2022) kokeessa raiheinällä, ja sen tulokset niin ikään vahvistavat asiaa. Hevosenlanta sopiikin paremmin maan rakenteen ja hiilitaseen parantamiseen (Poeplau ym. 2015) kuin lannoitteeksi.

3.4. Yhteenveto ja johtopäätökset

Aivan uusia ja aiemmin kokeilemattomia kuivikemateriaaleja ei niiden huonon saatavuuden vuoksi voitu ottaa mukaan tähän vertailuun. Potentiaalisista, laboratoriokokeissa hyväksi osoitettuneista ja alun perin suunnitelluista kuivikevaihtoehdoista jouduttiin jättämään pois osmankäämi ja rapsiolkisilppu. Aivan uusista vaihtoehdoista mukana oli tekstiilikuitu, joka oli valmistettu lajitellusta kierrätystekstiilijätteestä.

Perustamiskuivituksen ja täydennyskuivituksen yhteenlaskettu kilomääräinen kulutus oli pienin turpeella ja murukuivikkeella, suurin tekstiilibriketillä. Ruokohelpipelletin valmistajan ohjeistuksen mukainen käyttömäärä oli liian pieni, jotta karsinat pysyivät riittävän kuivina. Tekstiilibriketin imukyky oli myös melko huono.

Talli-ilmaan vapautuneet ammoniakkipitoisuudet olivat hyvin pieniä, ja osassa karsinoita pitoisuudet olivat alle mittausrajan 1 ppm. Myöskään kuivikemateriaalien välillä ei ollut eroja vapautuneen ammoniakkin määrissä. Aistinvaraisesti arvioituna ilmanlaatu tallissa oli hyvä kaikilla kuivikkeilla, vaikkakin ammoniakkin haju tuntui tekstiilibriketillä kuivitetuissa karsinoissa niiden siivouksen yhteydessä. Kuivikkeita käsiteltäessä murukuivikkeen ja ruokohelpipelletin pölyävyys oli melko vähäistä, mutta tekstiilibriketti oli erittäin pölyävää. Sekä tämän tutkimuksen että kirjallisuuden perusteella hevosennälän tyypipitoisuus on alhainen, mikä heikentää sen arvoa lannoitteena.

3.5. Viitteet

- Airaksinen S, 2006. Bedding and manure management in horse stables. Its effect on stable air quality, paddock hygiene and the compostability and utilization of manure. Kuopio University Publications C. Natural and Environmental Sciences 190. 52 p.
- Airaksinen, S., Heinonen-Tanski, H. & Heiskanen, M-L. 2001. Quality of different bedding materials and their influence on the compostability of horse manure. *Journal of Equine Veterinary Science* 21: 125–130.
- Airaksinen, S. & Heiskanen, M-L. 2019. Kuivikkeiden valinnasta. Suomen Hevostietokeskus ry, Saatavilla: https://hevostietokeskus.fi/dataflow/hevostietokeskus/files/media/kuivikkeiden_valinnasta_350.pdf [viitattu 10.6.2021]
- Airaksinen, S., Heiskanen, M.-L., Heinonen-Tanski, H., Laitinen, J., Laitinen, S., Linnainmaa, M. & Rautiala, S. 2005. Variety in dustiness and hygiene quality of peat bedding. *Annals Agricultural and Environmental Medicine* 12: 53–59.
- Aro, L., Kotilainen, T., Latvala, T., Saastamoinen, M., Silvan, N. & Tolvanen, A. 2021. Viisi näkökulmaa turpeeseen maa- ja puutarhataloudessa. Teoksessa: Latvala, T., Väre, M. & Niemi, J. (toim.) Maa- ja elintarviketalouden suhdannekatsaus 2021. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 33/2021, Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki, 70 s.
- Bachhausen, I., Hessel, E., Werhahn, H. & Van den Weghe, H. 2010. Effects of different bedding materials on the behavior of horses housed in single stalls. *Journal of Equine Veterinary Science* 30: 425–431.
- Bambi, G., Rossi, G. & Barbari, M. 2018. Comparison between different types of bedding materials for Horses. *Agronomy Research* 16: 646–665.

- Curtis, G.C., Barfoot, C.F., Dugdale, A.H., Harris, P.A. & Argo, C.M. 2011. Voluntary ingestion of wood shavings by obese horses under dietary restriction. *British Journal of Nutrition* 106 Suppl 1: S178–82.
- Keskinen, R., Saastamoinen, M., Nikama, J., Särkijärvi, S., Myllymäki, M., Salo, T. & Uusi-Kämppä, J. 2017. Recycling nutrients from horse manure: effects of bedding type and its compostability. *Agricultural and Food Science* 26: 68–79.
- Kwiatkowska-Stenzel, A., Sowinska, J. & Witkowsk, D. 2016 The effect of different bedding materials used in stable on horses behavior. *Journal of Equine Veterinary Science* 42: 57–66.
- Ladewig, J., Riemann-Pedersen, G. & Søndergaard, E. 2004. The influence of bedding on the time horses spend recumbent. *Journal of Equine Veterinary Science* 24: 153–158.
- Luostarinen, S., Grönroos, J. & Saastamoinen, M. 2017. Hevosen lannan käsittely Suomessa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 8/2017. Luonnonvarakeskus Helsinki. 18 s.
- Maljanen, M., Gondal, Z. & Bhattaral, H.R. 2016. Emissions of nitrous acid (HONO), nitric acid (NO), and nitrous oxide (N₂O) from horse dung. *Agricultural and Food Science* 25: 225–229.
- Manninen, K., Grönroos, J., Luostarinen, S. & Saastamoinen, M. 2016. Hevosenlannan energiankäytön ympäristövaikutukset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 30/2016. Luonnonvarakeskus Helsinki. 40 s.
- McClain, J., Wohlt, J.E., McKeever, K.H. & Ward, P.L. 1997. Horse hair coat cleanliness is affected by bedding material: A comparison of clean and used wheat straw, wood shavings and pelleted newspaper. *Journal of Equine Veterinary Science* 17: 156–160.
- MMM. 2015. Maa- ja metsätalousministeriön asetus tuettavien hevostalourakennusten rakennusteknisistä ja toiminnallisista vaatimuksista 588/2015.
- Mönki, J., Saastamoinen, M., Karikoski, N., Rajamäki, M., Raekallio, M., Junnila, J., Särkijärvi, S., Norring, M., Valros, A., Oranen, B., Fatma, S. & Mykkänen, A. 2021 Effects of Bedding Material on Equine Lower Airway Inflammation: A Crossover Study Comparing Peat and Wood Shavings. *Frontiers in Veterinary Science* 8: 656814. Doi: 10.3389/fvets.2021.656814
- Nieminen, V. 2012. Tänä talvena yhä useampi karsina rapisee. Suomen Hevosenomistajien Keskusliitto Ry:n jäsenlehti 5/2012, 14–15. Saatavilla: <https://www.shkl.net/wp-content/uploads/2016/06/olkipelletti.pdf> [viitattu 10.6.2021]
- Närvänen, A., Jansson, H., Uusi-Kämppä, J., Jansson, H. & Perälä, P. 2008. Phosphorus load from equine critical areas and reduction using ferric sulphate. *Boreal Environment Research* 13: 265–274.
- Poeplau, C., Bolinder, M.A., Eriksson, J., Lundblad, M. & Kätterer, T. 2015. Positive trends in organic carbon storage in Swedish agricultural soils due to unexpected socio-economic drivers. *Biogeosciences* 12: 3241–3251.
- Pratt, E.V., Rose, S.P. & Keeling, A.A. 2002. Effect of ambient temperature on losses of volatile nitrogen compounds from stored laying hen manure. *Bioresource Technology* 84: 203–205.
- Saastamoinen, M. 2011. Bedding choices for horses – an overview. *Proceedings Housing and management of horses in Nordic and Baltic climate*. pp. 33–36.

- Saastamoinen, M. 2017. Elinympäristö ja olosuhteet. Teoksessa: Hevosien ruokinta ja hoito. Nih-tilä, E. (toim.). ProAgria, Vantaa. ss. 93–107.
- Saastamoinen, M., Manni, K. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien ominaisuuksien vertailu. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 11–35.
- Saastamoinen, M., Särkijärvi, S. & Hyypä, S. 2015. Reducing Respiratory Health Risks to Horses and Workers: A Comparison of Two Stall Bedding Materials. *Animals* 5: 965–977.
- Saastamoinen, M., Särkijärvi, S. & Suomala, H. 2021. Protein source and intake effects on diet digestibility and N excretion in horses – A risk of environmental N load of horses. *Animals* 11: 3568. Doi: 10.3390/ani11123568
- Saastamoinen, M., Särkijärvi, S. & Valtonen, E. 2020. The effect of diet composition on the digestibility and fecal Excretion of phosphorus in horses: A potential risk of P leaching? *Animals* 10: 140; Doi: 10.3390/ani10010140.
- Salo, T., Manni, K. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikelantojen ominaisuudet ja typen käyttökelpoisuus. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 82–92.
- Swinker, A.M., Tanner, M.K., Johnsson, D.E. & Benner, L. 1997. Composting characteristics of three bedding materials. *Journal of Veterinary Science* 18: 462–466.
- Tampio, E., Virkkunen, E., Heikkinen, P., Hietaranta, M. & Saastamoinen, M. 2014. Hevosienlanta tuottaa biokaasua. Maataloustieteen päivät 2014. Suomen maataloustieteellinen seura. Helsinki. 6 s. www.smts.fi.
- TTL. 2021. <https://www.ttl.fi/ova/ammoni.html> [Viitattu 15.11.2021].
- Wartell, B.A., Krumins, V., Alt, J., Kang, K., Schwab, B.J. & Fenell, D.E. 2012. Methane production from horse manure and stall waste with softwood bedding. *Bioresource Technology* 112: 42–50.
- Werhahn, H., Hessel, E.F., Bachhausen, I. & Van den Weghe, F.H.A. 2010. Effects of different bedding materials on the behavior of horses housed in single stalls. *Journal of Equine Veterinary Science* 30: 425–431.
- Zeitler-Feicht, M.H., Bohnet, W., Düe, M., Esser, E. & Pollmann, U. 2015. Positionspapier zu den Leitlinien zur Beurteilung von Pferdehaltungen unter Tierschutzgesichtspunkten. Saata-villa: <http://www.tierschutz-tvt.de/positionspapierpferdehaltung.pdf> [viitattu 18.8. 2015].

4. Kuivikemateriaalien vertailu lihanaudoilla

Katariina Manni¹, Markku Saastamoinen¹ ja Maarit Hellstedt²

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 2 C, 31600 Jokioinen

² Maa- ja metsätalousministeriö, PL 30, 00023 Valtioneuvosto

Tiivistelmä

Hyvin kuivitettu makuualusta on keskeinen nautojen hyvinvointiin, puhtauteen ja terveyteen vaikuttava tekijä. Lisäksi toimiva kuivitus parantaa tuotantorakennuksen ilmanlaatua ja työympäristön viihtyvyyttä. Kuivikkeita on erityyppisiä ja niiden ominaisuudet saattavat vaihdella huomattavasti. Materiaalista riippumatta kuivikkeiden tärkeimpiä tehtäviä kuitenkin on pehmentää makuualustaa ja pitää se kuivana, sitoa lantakaasuja ja toimia lämpöeristeenä kylmissä oloissa. Kaikki nämä kuivikkeilta vaadittavat ominaisuudet vaikuttavat eläinten hyvinvointiin ja terveyteen sekä osin lopputuotteiden laatuun ja elintarviketurvallisuuteen.

Luonnonvarakeskuksen (Luke) Siikajoen koetoiminta-asemalla Ruukissa vertailtiin ruokohelpisilppua ja turvetta lihanautojen kuivituksessa eristämättömässä tuotantorakennuksessa. Molempia kuivikemateriaaleja käytettiin yksinomaisina kuivikkeina. Sonnit olivat viiden eläimen ryhmäkarsinoissa, joissa puolet karsina-alasta oli kestokuivitettua makuualuetta ja puolet kiinteäpohjaista lantakäytävää. Karsinassa oli tilaa 10 m² eläintä kohden. Vertailujakson kesto oli 28 päivää.

Kuivikkeiden käyttömäärissä oli selkeitä eroja. Turvetta kului lähes kaksinkertainen kilomäärä ruokohelpisilppuun verrattuna. Erityisesti vertailujakson alussa turvetta kului kuivitukseen ruokohelpeä enemmän. Ruokohelpisilppu oli selvästi turvetta kuivempi materiaali. Ruokohelven kuiva-ainepitoisuus oli 84 % kun se turpeella oli 67 %. Vaikka kuivikemateriaalien välillä oli selkeä ero kuiva-ainepitoisuuksissa, ero ei kuitenkaan näkynyt kuivikepatjojen kuiva-ainepitoisuuksissa ollen ruokohelvellä 32 % ja turpeella 37 %. Yksi selittävä tekijä saattoi olla turpeen ruokohelpisilppua selvästi suurempi kiloissa mitattu käyttömäärä.

Kuivikepatjasta mitattujen lämpötilojen perusteella ruokohelpikuivitus tuotti selvästi turvekuivitusta enemmän lämpöä. Vertailujakson aikana ruokohelvellä kuivitetettujen karsinoiden keskimääräinen lämpötila oli 28 °C ja turpeella kuivitetettujen 6 °C. Ruokohelven turvetta selkeästi korkeammat lämpötilat olivat todennäköisesti seurausta siitä, että se alkoi palaa nopeasti makuupatjassa tuottaen samalla lämpöä. Ulkolämpötila oli pakkasella koko seurantajakson ajan, minkä seurauksena turpeen ruokohelpisilppua huonompi lämmöntuottokyky korostui. Mikäli on mahdollista käyttää eri kuivikkeita eri ajankohtina, kuivikkeiden valinnassa kannattaa huomioida niiden lämmöntuotto.

Kuivikepatjojen pinnasta mitatut kaasupitoisuudet olivat pieniä. Molemmilla kuivikemateriaaleilla eläimet pysyivät puhtaina. Ruokohelven pölyävyys oli sen huomattava haitta. Ruokohelpisilppu oli varteenotettava vaihtoehto kuiviketurpeen korvaajaksi lihanautojen kuivituksessa.

Asiasanat: kuivitus, turve, ruokohelpi, kuivikepatja, sonni

4.1. Johdanto

Makuualustan kuivitus vaikuttaa eläinten puhtauteen, terveyteen ja hyvinvointiin. Kuivituksella vaikutetaan eläinten kokemaan makuumukavuuteen ja puhtaana pysymiseen (Munir ym. 2019). Makaaminen on nautan perustarve, johon se käyttää suuren osan ajastaan (Tuomisto ym. 2015). Siksi on tärkeää, että eläimillä on miellyttävä paikka maata. Puhdas karvapeite suojaa ihoa ja toimii kylmänä aikana lämpöeristeenä. Pehmeä makuualusta ehkäisee ihovaurioiden, kuten hiertymien, syntymistä (Munir ym. 2019). Tämä taas ehkäisee tulehdusta aiheuttavien mikrobien pääsyä ihon alaisiin kudoksiin.

Eläinten puhtaudella varmistetaan elintarvikkeiden raaka-aineen hygieenistä laatua, sillä erityisesti lantaisuus on elintarvikehygienian kannalta riskitekijä (Ruokavirasto 2020). Hyvin kuivitettu makuualusta parantaa myös hoitajan työympäristöä. Hyvälaatuiset kuivikkeet sitovat kosteutta ja lantakaasuja parantaen tuotantoympäristön ilmanlaatua (Jeppsson 1999, Misselbrook ja Powell 2005).

Riippumatta siitä, mitä materiaalia kuivikkeena käytetään, perusedellytyksenä voidaan pitää, että kuivikkeiden tulee pehmentää makuualustaa, pitää se kuivana ja sitoa lantakaasuja. Tällaiset ominaisuudet on turpeella, joka on nautanlihantuotannossa yleisesti käytetty kuivikemateriaali. Sillä on tunnetusti erinomainen nesteensitomiskyky (Iivonen 2008). Lisäksi turpe sitoo lannasta vapautuvaa ammoniakkaa raikastaen eläintilan ilmaa (Saastamoinen ym. 2015). Samalla siihen sitoutuu arvokasta ravinnetta, tyyppiä. Turpeella on myös haitallisten mikrobien kasvua estäviä ominaisuuksia, millä on merkitystä eläinterveyden kannalta. Lisäksi turpe on pehmeä materiaali maata. Käytettävyyden kannalta turpeen etuina on, että se on sellaisenaan käytettävissä kuivituksessa ja se on helppo levittää eläinten karsinoidiin. Lisäksi muodostuvalle kuivikelannalle on jatkokäyttöä esimerkiksi peltolannoitteena.

Turpeen käyttö ei kuitenkaan ole täysin ongelmattonta. Kiristyvien päästötavoitteiden ja polttoturpeen käytön rajoittamisen seurauksena kuiviketurpeen saatavuuteen ja hintaan on odotettavissa muutoksia, mikä saattaa vähentää merkittävästi turpeen kuivikekäyttöä tulevaisuudessa. Yhtenä merkittävänä syynä tähän on se, että kuiviketurpeen saatavuus on pitkälti riippuvainen energiaturpeen nostosta. Epävarmuus kuiviketurpeen saatavuudesta on luonut paineita etsiä uusia, turvetta korvaavia kuivikevaihtoehtoja.

Turpeen lisäksi erityisesti korsimateriaaleja käytetään runsaasti nautojen kuivituksessa. Tyypillisin korsimateriaali on viljan olki, koska sen saatavuus on hyvä. Mikäli oljen kuivikekäyttö yleistyisi tulevaisuudessa nykyisestä, sen saatavuus ja korjuun vaatima pinta-ala saattavat tulla käytön rajoitteeksi. Ruokohelvi on yksi potentiaalinen kuivikemateriaali, jolla voitaisiin mahdollisesti korvata turvetta. Se on monivuotinen heinäkasvi, joka kasvaa sekä luonnonvaraisena että viljeltyinä koko Suomessa. Tyypillinen kuiva-ainesato kevätkorjuuna on noin 6–8 tonnia hehtaarialta ja sadontuottokyky voi säilyä hyvänä jopa 10–12 vuotta (Pahkala ym. 2005). Ruokohelvikasvuston korjuu voidaan tehdä normaaleilla nurmenkorjuukoneilla. Korjuuajankohta voi olla keväällä tai myöhäiskesällä.

Koska yleisesti nautakarjatilojen käyttämän kuiviketurpeen saatavuuteen ja hintaan liittyy paljon epävarmuuksia tulevaisuudessa, on etsittävä vaihtoehtoisia ratkaisuja turvekuivitukselle. Eläinten hyvinvoinnin, terveyden ja elintarvikehygienian kannalta toimiva kuivitus on välttämätöntä. Tämän edellytyksenä puolestaan on riittävä kuivikkeiden saatavuus ja käyttö sekä kuivikkeiden hyvät kuivitusominaisuudet. Tämän kuivikevertailun tavoitteena oli tutkia ruokohelven käyttöä turvetta korvaavana kuivikemateriaalina kasvavilla lihanaudoilla käytännön olosuhteissa. Kontrollina oli turvekuivitus.

4.2. Aineisto ja menetelmät

4.2.1. Kuivikemateriaalien valinta

Ennen käytännön olosuhteissa tehtyä kuivikemateriaalien vertailua tutkittiin 16 eri kuivikemateriaalin ominaisuuksia laboratoriomittakaavassa tehdyissä testeissä. Laboratoriotesteissä oli turpeen lisäksi korsimateriaaleja, puunjalostus- ja myllyteollisuuden sivujakeita sekä tekstiilijätettä. Nämä on raportoitu erillisessä artikkelissa (Saastamoinen ym. 2022).

Nesteensitomiskyky on yksi keskeinen kuivikkeen ominaisuus. Laboratoriotesteissä ilmeni, että turpeen lisäksi myös korsimateriaaleilla imukyky kuivikekiloa kohden laskettuna oli hyvä. Liha-naudoilla käytännön olosuhteissa testattavaksi turvetta korvaavaksi kuivikemateriaaliksi valikoitui ruokohelpi ensisijaisesti laboratoriotesteissä mitattujen kuivikeominaisuuksien, mutta myös saatavuuden perusteella.

Kuivikevertailussa käytetty turve oli polttoturvesuon pintakerroksista kuivikkeeksi korjattua kuiviketurvetta. Ruokohelpi oli Ruukissa viljeltyä ja kasvusto oli paalattu loppukesästä. Ennen kuivitusta se silputtiin Rotogrind 155 -paalisilppurilla noin 3–5 cm:n mittaiseksi silpuksi.

4.2.2. Koejärjestelyt, eläimet ja kasvatusympäristö

Kuivikevertailu tehtiin Luonnonvarakeskuksen (Luke) Siikajoen koetoiminta-asemalla Ruukissa eristämättömässä lihanautakasvattamossa. Sonnit olivat viiden eläimen ryhmäkarsinoissa, joissa puolet karsina-alasta oli kestokuivitettua makuualluetta ja puolet kiinteäpohjaista lantakäytävää. Karsinan koko oli 50 m², pituus 10 m ja leveys 5 m, josta kuivitetävän makuualueen koko oli 5×5 m. Karsinassa oli siten tilaa 10 m² eläintä kohden, josta kuivitettua makuualluetta oli 5 m². Kuivikevertailussa oli kolme turpeella ja kolme ruokohelpisilpulla kuivitettua karsinaa. Kokeen kesto oli 28 päivää ja se toteutettiin aikavälillä 18.1.–15.2.2021.

Kokeen alussa kaikki koekarsinat tyhjennettiin ja niihin perustettiin koekäsittelyiden mukaiset kuivikepohjat (Kuva 1). Kuivikkeiden määrässä noudatettiin kyseisessä kasvattamossa käytettyjä tyypillisiä karsinoiden aloituskuivitusmääriä ja kuiviketta lisättiin tarpeen mukaiset määrät kuitenkin niin, että kaikkiin samalla kuivituksella olleisiin karsinoihin lisättiin aina sama määrä kuiviketta. Vertailujakson alussa kuiviketta lisättiin perustamiskuivituksen jälkeisenä päivänä ja sen jälkeen joka toinen päivä vertailujakson loppuun saakka. Jotta myös syntyneen kuivikelannan käsiteltävyydestä saatiin kokemuksia kuivikepatjaa poistettaessa, kuivitettu makuualue tyhjennettiin traktorin etukuormaajaan kiinnitetyillä piikeillä kuivikevertailujakson päätyttyä (Kuva 2).



Kuva 1. Makuupatjan perustaminen vertailujakson alussa. Takana ruokohelpisilppu ja edessä turve. Kuva: Luke/Anna Tamminen.



Kuva 2. Ruokohelpisilppu- ja turvekuivikepatjojen poisto vertailujakson päätyttyä. Kuvat: Luke/Anna Tamminen.

4.2.3. Mittaukset, näytteet ja analyysit

Kokeen ajan molemmista vertailussa olevista kuivikemateriaaleista kerättiin osanäytteitä, joista otettiin varsinainen kuivikemateriaalin analyysinäyte (noin litra/kuivikemateriaali) vertailujakson päätyttyä. Kuivikemateriaalinäytteitä säilytettiin huoneilmassa ja kokeen päätyttyä ne toimitettiin analysoitaviksi Jokioisiin Luken laboratorioon. Koejakson päätyttyä kunkin karsinan kuivikepatjasta otettiin kaksi edustavaa näytettä (Kuva 3.) Toinen, noin litran kokoinen näyte, meni laboratorioanalyysiin ja toinen, noin viiden litran kokoinen näyte, meni myöhemmin tehtävään astiakokeeseen, jossa tutkittiin eri kuivikemateriaaleja sisältävien kuivikelantojen tyyppien hyväksikäyttöä lannoitekäytössä. Näytteet varastoitettiin pakastamalla $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Laboratorionäytteistä analysoitiin kuiva-aine, pH, kokonaistyyppi, ammoniumtyppi ja kokonaisfosfori.



Kuva 3. Ruokohelpisilpulla ja turpeella kuivitettujen karsinoiden kuivikelantanäytteet laboratorioanalyysiä ja viljelykoetta varten. Kuva: Luke/Anna Tamminen.

Kuiva-aine, pH sekä kokonais- ja ammoniumtyypen ja fosforin pitoisuudet määritettiin Luken laboratorioissa Jokioisilla. Kaikki analyysit tehtiin tuoreista näytteistä. Näytteiden kuiva-ainepitoisuus määritettiin lämpökaappikuivauksella 105 °C:ssa 20 tuntia (josta aluksi 50 °C noin 2 tuntia). Näytteiden pH mitattiin samasta vesiuutteesta kuin ammoniumtyppi Mettler Toledo 345 pH-mittarilla (Mettler-Toledo AG, Schwerzenbach, Sveitsi). Ammoniumtyypen määrä mitattiin kuivikemateriaalista tehdystä vesiuutteesta (1:15) spektrofotometrisellä menetelmällä (UV-VIS double-beam UV-1800 spektrofotometri, Shimadzu Co., Kyoto, Japani). Vesiuutto tehtiin käyttäen 20 g näytettä ja 300 ml vettä: sekoitus 3×1,5 min Waring Blender laboratory mixer – tehosekoittimella (Waring Commercial, Stamford, USA), suodatus ja sentrifugointi. Kokonaistyyppien määrä analysoitiin Kjeldahl-tekniikalla ja akkreditoitulla menetelmällä (sisäinen menetelmä Luke-JOK2002 Kjeldahl nitrogen, AOAC 984.13). Näytteen hajottamisen katalysaattorina käytettiin kuparia ja mittaukseen Foss Kjeltac 2400 Analyzer Unit -laitteistoa (Foss Tecator AB, Höganäs, Ruotsi). Koska kuivikemateriaalista on hankala saada homogeenista ja edustavaa pientä näytettä, isompi määrä näytettä esipoltettiin väkevässä rikkihapossa +60 °C:ssa yön yli. Kokonaisfosforin määrittämiseksi näyte märkäpoltettiin HNO₃-H₂O₂-hajotuksella mikroaaltouunissa (CEM Corporation, Matthews, Kanada) paineen alla. Saatu liuos analysoitiin iCAP 6500 DUO ICP-emission spectrometer -analysaattorilla (Thermo Scientific, Iso-Britannia) (Kalra 1998).

Kuivikevertailujakson aikana kunkin kuivikepatjan koskemattomasta ja sekoitetusta pinnasta määritettiin ammoniakki-, hiilidioksidi- ja rikkivety-pitoisuudet (NH₃ ppm, CO₂ tilavuusprosentti, H₂S ppm) ja sisäosasta mitattiin lämpötila. Mittaukset aloitettiin kuivikevertailun toisella viikolla ja niitä tehtiin kerran viikossa vertailujakson loppuun saakka. Mittaukset tehtiin aina ennen kuivitusta. Kaasujen mittauksessa käytettiin Drägerin x-am 5600 –mittaria (Kuva 4). Kuivikepatjan pinnasta kaasut mitattiin niin, että mittari laitettiin koskemattoman kuivikepatjan pinnalle ja päälle asetettiin läpinäkyvä kupu. Mittaustulos luettiin, kun lukema oli asettunut. Sekoitettun kuivikepatjan pinnasta tehtävää kaasujen mittausta varten kuivikepatjaa sekoitettiin talikolla noin 15 cm:n syvyydestä ja noin 40×40 cm:n alueelta. Välittömästi, kun sekoitus oli tehty, mittari laitettiin sekoitetun alueen pinnalle ja päälle asetettiin läpinäkyvä kupu. Mittaustulos luettiin, kun lukema oli asettunut.



Kuva 4. Kuivikepatjasta mitattiin kaasut Drägerin x-am 5600 –mittarilla. Kuva: Luke/Anna Tamminen.

Kuivikepatjan sisäosan lämpötila mitattiin Prego-paistomittarilla kaasumittausten jälkeen. Mittari työnnettiin makuupatjan sisäosaan noin 10 cm:n syvyyteen. Lisäksi kokeen lopussa mitattiin kunkin karsinan kuivikepatjan paksuus kolmesta eri kohdasta, jotka olivat silmämääräisesti arvioituna ohuin ja paksuin kohta sekä seinän vierusta.

Kuivikkeiden käyttömäärien laskemista varten kuivikemateriaalien levityksessä käytetyt jakolaitteet punnittiin tyhjinä, minkä jälkeen ne täytettiin kussakin vertailussa käytetyillä kuivikemateriaaleilla ja punnittiin uudelleen. Jakolaitteen ja kuivikkeen yhteispainosta vähennettiin tyhjän jakolaitteen paino. Kuivikkeiden käyttömäärät laskettiin kirjaamalla ylös karsinakohtaiset kuivikkeiden lisäysmäärät ja kertomalla ne kyseisen kuivikemateriaalin painolla.

Ruokohelven ja turpeen tilavuuspainot määritettiin kerran vertailujakson aikana. Määrittämisessä käytetty mitta-astia punnittiin tyhjänä. Sen jälkeen se täytettiin vedellä ja punnittiin. Punnitusta tuloksesta vähennettiin mitta-astian paino. Saatua veden painoa käytettiin mitta-astian tilavuutena. Veden punnituksen jälkeen tyhjä mitta-astia täytettiin kuivikemateriaalilla niin, että se täyttyi kuivikkeen omalla painolla (Kuva 5). Kuiviketta ei tiivistetty mitta-astiassa, vaan ainoastaan ravisteltiin kevyesti sen verran, että kuivikemateriaalista tuli tasainen pinta mitta-astian yläreunan kanssa. Tämän jälkeen kuivikemateriaalilla täytetty mitta-astia punnittiin ja tuloksesta vähennettiin tyhjän mitta-astian paino.

Ilmankosteuden ja lämpötilan määrittämisessä käytettiin Ilmatieteenlaitoksen sääaseman Ruukista keräämiä tietoja (Ilmatieteen laitos). Vertailujaksojen lämpötilat olivat vuorokausikeskiarvoja. Ilmankosteuden luvut olivat tunnin välein tehdyistä mittauksista.

Kaikki kuivikkeisiin ja kuivitukseen liittyvät havainnot kirjattiin ylös. Huomiota kiinnitettiin myös nautojen puhtauteen ja karsinakäyttäytymiseen. Lisäksi havainnoitiin subjektiivisesti kuivikemateriaalien pölyävyyttä.

Tulokset on laskettu ja esitetty molemmilla kuivikemateriaalilla olleiden kolmen karsinan mitausten yhteisessä keskiarvona.



Kuva 5. Ruokohelpisilpun (vasemmalla) ja turpeen (oikealla) punnitus tilavuuspainon määrittäystä varten. Kuvat: Luke/Anna Tamminen.

4.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

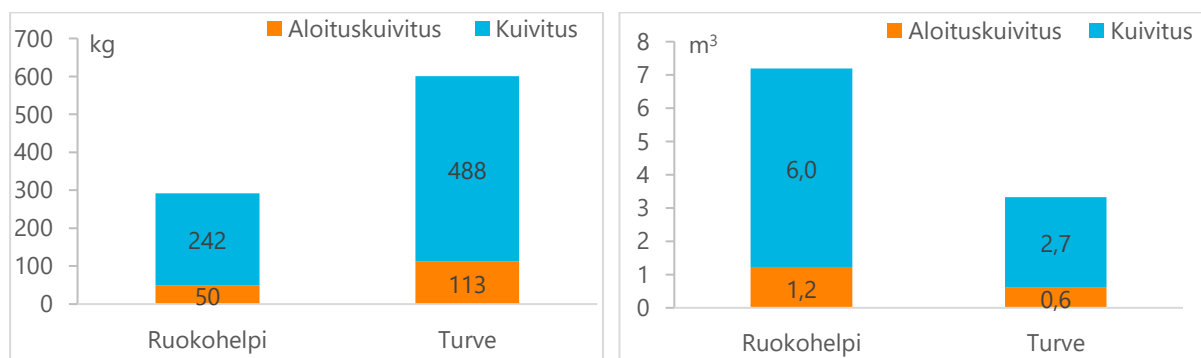
4.3.1. Kuivikemateriaalien käyttömäärät

Kuivikkeiden käyttömäärissä oli selkeitä eroja. Turvetta kului lähes kaksinkertainen kilomäärä ruokohelpisilppuun verrattuna vertailujakson aikana (Taulukko 1, Kuva 6). Kilomääräinen ero näkyi sekä kuivikepohjaa perustettaessa aloituskuivitusmäärässä että sen jälkeisessä kuivitukseen kuluneessa määrässä. Erityisesti vertailujakson alussa kuivitukseen käytetyt määrät erosivat selvästi kuivikemateriaalien välillä. Turvetta lisättiin aloituskuivituksen jälkeisenä päivänä aloituskuivitusta vastaava määrä, kun taas ruokohelpisilppua lisättiin huomattavasti aloituskuivitusta vähemmän (Kuva 7). Myös muutamalla seuraavalla kuivituskerralla, vertailujakson puolivälin paikkeilla ja viimeisellä kuivituskerralla turpeen käyttömäärä oli selvästi ruokohelpisilppua suurempi.

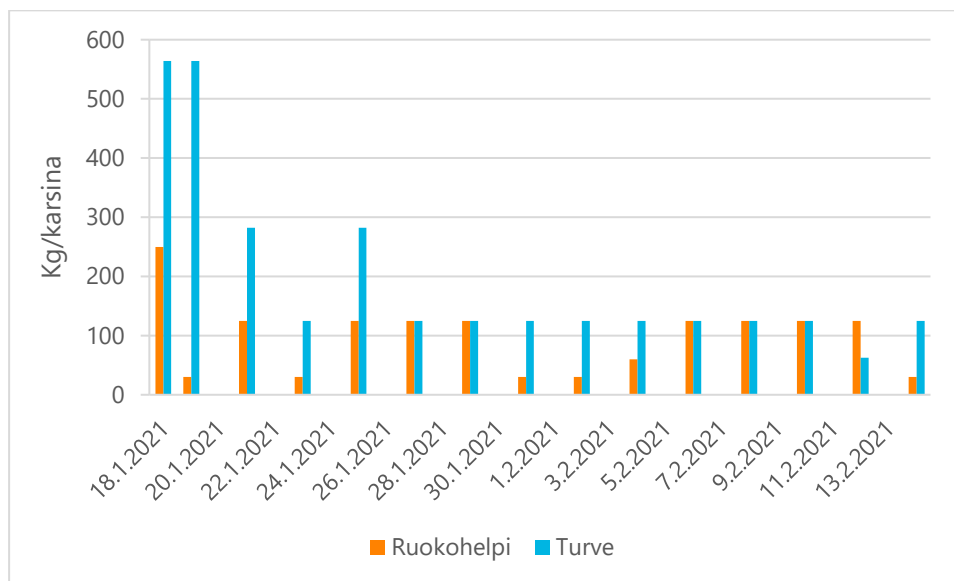
Taulukko 1. Ruokohelpisilpun ja turpeen kiloihin ja tilavuuteen perustuvat käyttömäärät kuivituksessa sonnia kohden laskettuna 28 päivän pituisen vertailujakson aikana. Tilavuuspainot on määritetty kuivikevertailun yhteydessä.

Kuivikemateriaali	Ruokohelpi	Turve	Kuivikemateriaali	Ruokohelpi	Turve
			Tilavuuspaino, kg/m ³	41	181
Kuivikkeen kulutus koejaksolla, kesto 28 pv, kg/sonni			Kuivikkeen kulutus koejaksolla, kesto 28 pv, m ³ /sonni		
Aloituskuivitus	50	113	Aloituskuivitus	1,2	0,6
Kuivitus	242	488	Kuivitus	6,0	2,7
Kokonaiskulutus	292	601	Kokonaiskulutus	7,2	3,3
Kuivitus, kg/sonni/pv ¹⁾	9	18	Kuivitus, m ³ /sonni/pv ¹⁾	0,221	0,100

¹⁾ Perustamiskuivitus ei ole luvussa mukana.



Kuva 6. Ruokohelpisilpun ja turpeen keskimääräinen kulutus kiloina ja kuutioina sonnia kohden laskettuna 28 päivän mittaisen vertailujakson aikana.



Kuva 7. Karsinakohtaiset, viisi sonnia/karsina, kuivikkeiden käyttömäärät kuivituskerroittain 28 päivän mittaisen vertailujakson aikana.

Tyypillisesti turpeen tilavuuspaino on korsimateriaaleja suurempi, jolloin samaan kilomäärään tarvitaan vähemmän turvekuutioita kuin korsimateriaaleja (Peltola ym. 1986, Alasuutari ja Palva 2014). Tämä näkyi selkeästi myös kyseessä olevassa kuivikevertailussa verrattaessa ruokohelpisilpun ja turpeen tilavuuspainoja ja tilavuuteen perustuvia käyttömääriä (Taulukko 1). Tilavuuteen perustuvassa vertailussa ruokohelpisilppua kului yli kaksinkertainen määrä turpeeseen verrattuna (Taulukko 1, Kuva 6). Tilavuuspainolla on merkitystä erityisesti kuivikkeiden varastointiin ja kuljetukseen tarvittavan tilan kannalta. Myös kuivikkeiden hinnoittelu saattaa perustua tilavuuspainoihin. Huomioitavaa kuitenkin on, että esitetyt tilavuuspainot on mitattu niin, että materiaalia ei ole tiivistetty. Siten se ei vastaa kyseisten materiaalien tiivistettyjä varasto- ja kuljetustilavuuspainoja.

Kuivikemateriaalien tilavuuspainot saattavat vaihdella huomattavasti samaakin materiaalia käytettäessä, mikä ilmeni myös tässä hankkeessa määritetyissä tilavuuspainoissa. Kuivikemateriaalien laboratoriomittakaavan vertailuissa ruokohelpisilpun tilavuuspaino oli huomattavasti suurempi (141 vs. 40 kg/m³) ja kuiviketurpeen puolestaan jonkin verran pienempi (150 vs. 180 kg/m³) kuin lihanautojen kuivikevertailun yhteydessä määritetyt tilavuuspainot (Taulukot 1 ja 2). Yksi syy saattoi olla silpun pituus, mikä vaikuttaa siihen, kuinka paljon korsimateriaalia menee tiivistämättä mitta-astiaan. Mitä lyhyempää silppu on, sitä enemmän sitä mahtuu mitta-astiaan. Myös kuiva-ainepitoisuus voi vaikuttaa tilavuuspainoon, sillä kosteus lisää materiaalin painoa. Tässä kuiva-ainepitoisuus ei kuitenkaan selittänyt eroja tilavuuspainoissa, sillä laboratoriomittakaavan vertailussa turve oli kosteampaa (kuiva-ainepitoisuus 59 %) kuin lihanautojen kuivituksessa käytetty turve (kuiva-ainepitoisuus 67 %). Ruokohelpisilpun välillä ei ollut eroa kuiva-ainepitoisuudessa (83 % vs. 84 %).

Laskettaessa lihanautoilla tehdyn kuivikevertailun aikainen kuivikkeiden kulutus kuutioina käyttäen laboratoriomittakaavan kuivikevertailuissa määritettyjä tilavuuspainoja, ruokohelpisilpun ja turpeen käyttömäärät erosivat huomattavasti (Taulukko 2) verrattuna käyttömääriin, jotka saatiin käyttämällä kuivituskokeen yhteydessä määritettyjä tilavuuspainoja (Taulukko 1). Laboratoriomittauksissa määritettyjä tilavuuspainoja käytettäessä turvetta kului kuivituksessa kuutioina enemmän kuin ruokohelpisilppua. Kuivikevertailun yhteydessä määritettyjä tilavuuspainoja käytettäessä ruokohelpisilppua kului kuivituksessa turvetta enemmän.

Taulukko 2. Ruokohelpisilpun ja turpeen kiloihin ja tilavuuteen perustuvat käyttömäärät kuivituksessa sonnia kohden laskettuna 28 päivän pituisen vertailujakson aikana. Tilavuuspainot on määritetty kuivikemateriaalien laboratoriomittakaavassa tehtyjen vertailujen yhteydessä.

Kuivikemateriaali	Ruokohelppi	Turve	Kuivikemateriaali	Ruokohelppi	Turve
			Tilavuuspaino, kg/m ³	141	150
Kuivikkeen kulutus koejaksolla, kesto 28 pv, kg/sonni			Kuivikkeen kulutus koejaksolla, kesto 28 pv, m ³ /sonni		
Aloituskuivitus	50	113	Aloituskuivitus	0,4	0,8
Kuivitus	242	488	Kuivitus	1,7	3,3
Kokonaiskulutus	292	601	Kokonaiskulutus	2,1	4,0
Kuivitus, kg/sonni/pv ¹⁾	9	18	Kuivitus, m ³ /sonni/pv ¹⁾	0,061	0.116

¹⁾ Perustamiskuivitus ei ole luvussa mukana.

Tehdyn kuivikevertailun kuivikemäärät eivät vastanneet tyypillisiä lihanaudoilla käytettyjä kuivikemääriä, eivätkä siten ole tältä osin yleistettävissä olevia lukuja. Arvioitu kuiviketurpeen käyttömäärä lihanautakasvattamossa Suomessa on keskimäärin 5,9 m³/eläin/v (Iivonen 2008), kun vastaava luku tämän kuivikevertailun käyttömäärien perusteella olisi 38 m³ tai 45 m³ riippuen tilavuuspainosta ja sillä olettamuksella laskettuna, että kuivikepatja perustetaan kaksi kertaa vuodessa. Syitä vertailujakson huomattavan suureen kuiviketurpeen käyttömäärään on useita. Yksi merkittävä syy oli vertailujakson ajoittuminen kylmään ajankohtaan, mikä lisäsi kuivituksen tarvetta, kun kuivikepatja perustettiin pakkasjaksolla. Koska lämpöä tuottavaa kuivikepatjaa ei ole vielä muodostunut, on riittävästä kuivikkeen määrästä huolehdittava, jotta kuivikkeet toimivat eristeenä kylmää betonilattiaa vasten. Lisäksi on syytä huomioida, että vaikka pakkasjaksolla kuivikepatja pysyy kuivempana kuin lauhemmalla säällä, silloinkin on huolehdittava riittävästä kuivituksesta, jotta kuivikepatja ei vety sään lämmitessä (Herva 2021). Myös vertailujakson melko lyhyt kesto vaikutti todennäköisesti kuivikkeiden suureen käyttömäärään. Mikäli se olisi ollut pidempi, käyttömäärät olisivat todennäköisesti pienentyneet kuivikepatjan muodostumisen myötä ja osin myös säiden vaikutuksesta erityisesti silloin, kun ilma on lämmin ja kuiva. Lisäksi kuivikevertailu tehtiin tutkimusnavetassa, jossa käytetään aina erityisen runsasta kuivitusta, jolla varmistetaan eläinten puhtaus ja hyvinvointi kokeiden ja koko kasvatusjakson ajan. Tämän kuivikevertailun tulokset ovat siten ennen kaikkea kahden kuivikemateriaalin ominaisuuksien välistä vertailua.

4.3.2. Kuivikemateriaalien ja kuivikepatjoiden ominaisuuksia

Kuivikevertailujakson aikana kuivikepatjasta tehtyjä mittauskertoja oli neljä. Molemmilla kuivikemateriaaleilla kuivitetujen karsinoiden keskimääräiset kuivikemateriaalikohtaiset tulokset on koottu Taulukkoon 3.

Taulukko 3. Kuivikemateriaalien ja kuivikepatjien keskimääräiset kuiva-ainepitoisuudet sekä kuivikepatjasta mitatut keskimääräiset lämpötilat ja kaasupitoisuudet.

Kuivikemateriaali	Ruokohelppi	Turve
Kuiva-aine, %	84	67
Kuivikepatja	Ruokohelppi	Turve
Karsinoita, kpl	3	3
Kuiva-aine, %	32	37
Lämpötila, °C	28	6
Paksuus ohuimmasta kohdasta vertailujakson lopussa, cm	10	9
Paksuus paksuimmasta kohdasta vertailujakson lopussa, cm	29	28
Kaasupitoisuudet pinnassa		
Ammoniakki, ppm	2,3	2,8
Hiilidioksidi, til-% ¹⁾	0,2	0,1
Rikkivety, ppm	0	0
Kaasupitoisuudet sekoitetussa		
Ammoniakki, ppm	7,7	4,5
Hiilidioksidi, til-% ¹⁾	0,4	0,2
Rikkivety, ppm	0	0

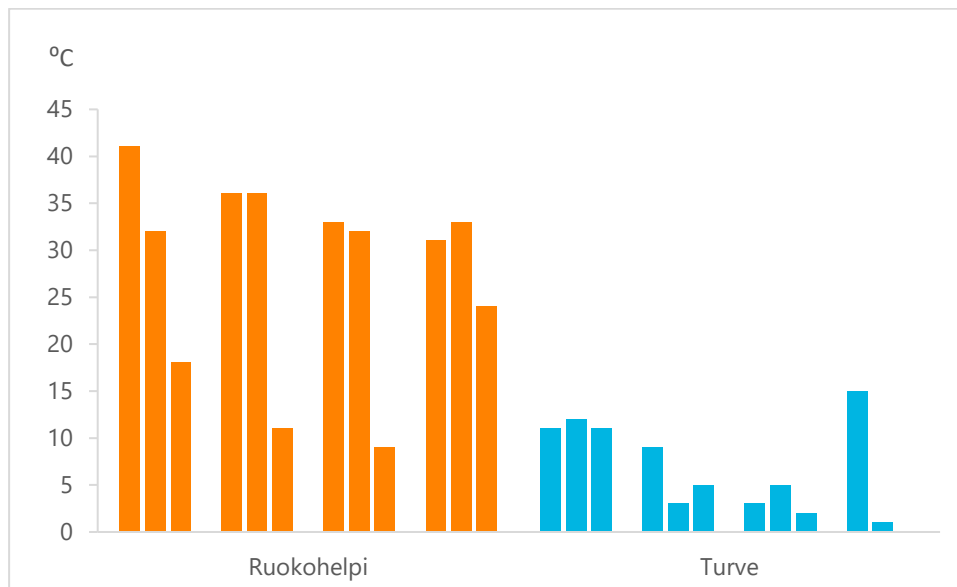
1) Tilavuusprosentti.

Ruokohelpisilppu oli selvästi turvetta kuivempi materiaali (Taulukko 3). Vaikka kuivikemateriaalien välillä oli selkeä ero kuiva-ainepitoisuuksissa, ero ei kuitenkaan näkynyt kuivikepatjien kuiva-ainepitoisuuksissa (Taulukko 3). Yksi selittävä tekijä saattoi olla käyttömäärät, sillä turvetta kului kiloina mitattuna lähes kaksinkertainen määrä ruokohelpisilppuun verrattuna.

Ruokohelppi oli lämpöä tuottava materiaali kuivikepatjasta mitattujen lämpötilojen perusteella (Taulukko 3). Turpeeseen verrattuna ero makuupatjien lämpötilassa oli huomattava. Vertailujakson aikana ruokohelvellä kuivitetettujen karsinoiden keskimääräinen lämpötila oli 28 °C ja se vaihteli välillä 25–30 °C. Turpeella kuivitetettujen karsinoiden keskimääräinen lämpötila oli 6 °C vaihdellen välillä 3–11 °C. Ruokohelven turvetta selkeästi korkeammat lämpötilat johtuivat todennäköisesti siitä, että se alkoi palaa nopeasti makuupatjassa tuottaen samalla lämpöä. Molemmilla kuivikemateriaaleilla kuivikepatjasta mitatut lämpötilat olivat kuitenkin huomattavasti alempia kuin aiemmissa vertailussa olleet (Manni ja Huuskonen, 2021). Tämä johtui todennäköisesti kyseisen vertailujakson aikana olleesta kylmemmästä ilman lämpötilasta, mikä on saatanut lisätä kuivikepatjasta haihtuvaa lämpöhävikkiä ja rajoittaa kuivikepatjan palamista.

Neljällä eri mittauskerralla mitatut karsinakohtaiset kuivikepatjan lämpötilat on esitetty Kuvassa 8. Eläinten aktiivisuus vaikutti osaltaan kuivikepatjan paksuuteen ja lämpötilaan, mikä näkyi yhdessä ruokohelpikarsinassa. Kyseisessä karsinassa eläimet olivat selkeästi muita aktiivisempia, minkä seurauksena makuupatja oli ohuempi ja sen lämpötila alhaisempi kuin muissa samalla kuivituksella olleissa karsinoissa. Eläinten aktiivisuuden lisääntyessä kuivitustarve kasvaa, mikä tulee huomioida kuivituksen määrässä. Riittävä kuivitus on olennainen asia eläinten puhtauden

kannalta, mutta myös makuualueen lämmöntuoton kannalta sillä on merkitystä erityisesti kylmänä aikana.

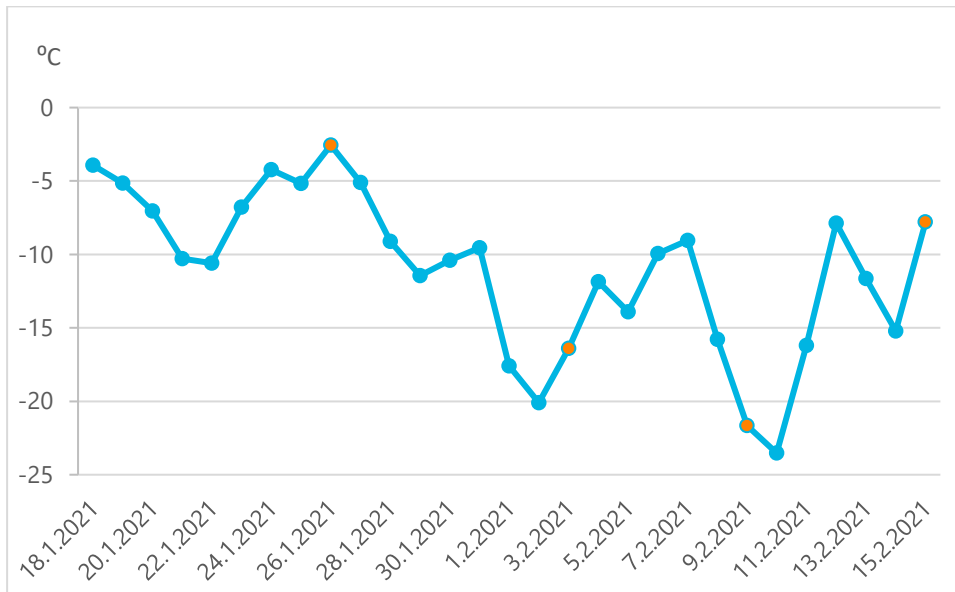


Kuva 8. Kolmen ruokohelvellä (oranssit pylväät) ja kolmen turpeella (turkoosit pylväät) kuivitetun karsinan karsinakohtaiset kuivikepatjoiden lämpötilat neljällä eri mittauskerralla.

Kuivikepatjoiden pinnasta mitatut kaasupitoisuudet olivat pieniä eivätkä ne juurikaan eronneet kuivikemateriaalien välillä (Taulukko 3). Rikkivetyä ei havaittu mittauksissa lainkaan kummallakaan materiaalilla. Eri mittauskerroilla pinnasta mitatut keskimääräiset ammoniakkipitoisuudet vaihtelivat ruokohelvellä 0–5 ppm ja turpeella 0–6 ppm, eivätkä ne siten ylittäneet maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräyksessä asettamaa ohjeellista ylärajaa, joka on 10 ppm (MMM 2001). Eri mittauskerroilla pinnasta mitatut keskimääräiset hiilidioksidipitoisuudet vaihtelivat ruokohelvellä 0,11–0,27 tilavuusprosenttia ja turpeella 0,10–0,15 tilavuusprosenttia. Siten myöskään hiilidioksidipitoisuudet eivät ylittäneet asettua ohjeellista suositusrajaa, joka on 0,3 tilavuusprosenttia eli 3 000 ppm (MMM 2001).

Sekoitetusta kuivikepatjasta mitatut keskimääräiset ammoniakki- ja hiilidioksidipitoisuudet olivat ruokohelpikuivituksella jonkin verran suuremmat kuin turvekuivituksella. Myös vaihtelu kaasupitoisuuksissa oli ruokohelpikuivituksella suurempaa kuin turvekuivituksella. Eri mittauskerroilla mitatut keskimääräiset ammoniakkipitoisuudet sekoitetussa kuivikepatjassa vaihtelivat ruokohelvellä välillä 5–10 ppm ja turpeella 1–8 ppm. Hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu oli ruokohelvellä 0,16–0,51 ja turpeella 0,11–0,21.

Ulkoilman lämpötilat on esitetty Kuvassa 9. Ulkolämpötila oli nollan asteen alapuolella koko seurantajakson ajan. Koko jakson keskimääräinen vuorokausilämpötila oli -11 °C ja lämpötila oli kylmimmillään -24 °C ja lämpimimmillään -3 °C. Seurantajakson keskimääräinen ilmankosteus oli 90 % ja se vaihteli välillä 78–99 %.



Kuva 9. Ulkoilman lämpötila kunkin päivän keskiarvona seurantajaksolla 18.1.–15.2.2021. Oranssilla merkityt pisteet ovat kuivikepatjoista tehtyjen mittausten ajankohdat. Tiedot: Ilmatieteen laitos, havaintoasema Siikajoki, Ruukki.

Turpeen ruokohelpisilppua huonompi lämmöntuottokyky korostui kylmän pakkasjakson seurauksena. Mikäli on mahdollista käyttää eri kuivikkeita eri ajankohtina, kuivikkeiden valinnassa kannattaa huomioida niiden lämmöntuotto. Tällöin kylmänä aikana kannattaa suosia lämpöä tuottavia kuivikemateriaaleja, kuten ruokohelpeä, ja kesällä vähemmän lämpöä tuottavia, kuten turvetta. Myös ruokohelven sekoittaminen turpeen sekaan kylmänä aikana saattaa lisätä makuupatjan lämpöä.

4.3.3. Kuivikemateriaalien käyttökokemuksia

Molemmilla kuivikemateriaaleilla eläimet pysyivät puhtaina (Kuvat 10 ja 11). Yleisvaikutelma oli, että turpeella kuivitetuissa karsinoissa eläimet makasivat ryhmässä lähempänä toisiaan kuin ruokohelpisilpulla kuivitetuissa. Tämä saattoi ainakin osittain johtua turpeen huonommasta lämmöntuottokyvystä, jonka seurauksena eläimet hakivat lisälämpöä toisistaan makaamalla lähemmäksi.

Tässä kokeessa ei verrattu kuivikemateriaalin vaikutusta eläinten lepokäyttäytymiseen. Lepoaika on kuitenkin tärkeä nautojen hyvinvointiin vaikuttava tekijä, ja tutkimukset osoittavat, että kuivike vaikuttaa eläimen lepoaikaan ja viihtymiseen makuulla (Norrington ym. 2008, Tucker ym. 2009, Tuomisto ym. 2021). Tähän vaikuttaa mm. kuivikkeen kosteus, lämpötila ja alustan pehmeys (Norrington ym. 2008, Tucker ym. 2009). Yleensä eläimet lepäävät makuulla mieluiten olkikuivikkeella. Kuivike vaikuttaa myös eläimen sorkkaterveyteen (Norrington ym. 2008).



Kuva 10. Sonnit ruokohelpikuivituksella vasemmalla olevassa kuvassa ennen kuivitusta ja oikealla olevassa kuvassa kuivituksen jälkeen. Kuvat: Luke/Osmo Keränen.



Kuva 11. Sonnit turvekuivituksella vasemmalla olevassa kuvassa ennen kuivitusta ja oikealla olevassa kuvassa kuivituksen jälkeen. Kuvat: Luke/Osmo Keränen.

Turpeen ottaminen työkoneen kauhalla kuivikevarastosta koettiin olevan helppoa, kun taas ruokohelpisilpun irrotus oli huomattavasti hankalampaa. Työkoneen kauhaa oli vaikea saada silputun ruokohelpikasan sisään ja kuiviketta kauhaan. Turpeen ottamisen haasteena kuivikevarastosta oli lähinnä se, että se oli alkanut lämmetä ja siitä nousut höyry häytti näkyvyyttä.

Molemmilla kuivikemateriaaleilla niiden levittäminen työkoneen kauhalla karsinoihin oli helppoa. Tosin turpeen osalta oli havaintona, että se valuu helposti eläinten siirtämänä lantakäytävälle. Myös karsinoiden tyhjennys oli sujuvaa molemmilla kuivikemateriaaleilla.

Ruokohelven pölyävyys oli sen huomattava haitta. Vaikka turvekin pölysi, niin ruokohelven pölyn koettiin olevan turvepölyä hienojakoisempaa, joka tuntui turvepölyä enemmän hengityksessä erityisesti karsinoita kuivitettaessa. Tämä siitäkin huolimatta, että ruokohelpi oli etukäteen silputtu ulkona ja kuivike kipattiin karsinoihin työkoneen kauhalla.

4.3.4. Kuivikemateriaalien ja kuivikelantojen koostumus

Kuivikkeista ja kuivikelannoista otettujen näytteiden kuiva-aine-, ammoniumtyppi-, kokonaisytyppi- ja kokonaisfosforipitoisuudet sekä pH on esitetty Taulukossa 4. Merkittävin ero kuivikemateriaalien välillä oli niiden kuiva-ainepitoisuuksissa. Ruokohelpisilpun kuiva-ainepitoisuus oli

selvästi turvetta korkeampi, mutta kuivikelantojen kuiva-ainepitoisuuksissa ero oli vähäinen. Osa tästä selittynee huomattavasti suuremmalla turpeen käyttömäärällä kuivituksessa.

Taulukko 4. Kuivikemateriaalien ja kuivikelantojen koostumus.

	Ruokohelpi	Turve
Kuivikemateriaali		
Kuiva-aine, %	84	67
Ammoniumtyppi, g/kg	0,01	0,18
Kokonaistyyppi, g/kg	7,07	12,17
Fosfori, g/kg	1,33	0,07
pH	6.2	4.4
Kuivikelanta		
Kuiva-aine, %	32	37
Ammoniumtyppi, g/kg	0,57	0,76
Kokonaistyyppi, g/kg	6,59	9,42
Fosfori, g/kg	0,82	0,26
pH	7,7	5,7

Ammoniumtyppipitoisuudet sekä kokonaistyyppi- ja fosforipitoisuudet olivat molemmilla kuivikemateriaaleilla pieniä. Turpeeseen verrattuna ruokohelpisilpun ammoniumtyppi- ja kokonaistyyppipitoisuudet olivat hieman matalammat ja fosforipitoisuus puolestaan korkeampi. Turve on tunnetusti hapan materiaali, mikä näkyi myös näissä tuloksissa turpeen ruokohelpeä alhaisempana pH-arvona. Se ei kuitenkaan vaikuttanut karsinan ammoniakkipitoisuuteen, mutta tyyppiä turve pidatti paremmin kuin ruokohelpisilppu.

Kuivikelantojen koostumukset olivat samansuuntaiset kuivikemateriaalien kanssa. Ruokohelpikuivikelannan ammoniumtyppi- ja kokonaistyyppipitoisuudet olivat hieman matalammat ja fosforipitoisuus oli hieman korkeampi turvekuivikelantaan verrattuna. Kuivikemateriaalien ja kuivikelantojen väliset erot olivat kaiken kaikkiaan pieniä. Kuivikemateriaalin pH-arvoon verrattuna kuivikelantojen pH:t olivat jonkin verran korkeampia, turvekuivikelannan pH:n ollessa alhaisempi kuin ruokohelpikuivikelannan. Ruokohelpikuivikelannan typpi- ja fosforipitoisuudet olivat samaa tasoa kuin Joki-Tokolan (2021) tutkimuksessa, jossa tutkittiin naudan kuivikelannan käyttöä nurmen lannoituksessa.

4.4. Johtopäätökset

Ruokohelpisilppu oli varteenotettava vaihtoehto kuiviketurpeen korvaajaksi lihanautojen kuivituksessa. Sekä ruokohelpi- että turvekuivituksella eläimet pysyivät puhtaina, mikä on yksi keskeinen kuivikkeiden käytön tarkoitus. Kiloina mitattuna turvetta kului lähes kaksinkertainen määrä ruokohelpisilppuun verrattuna. Tilavuuteen perustuvat käyttömäärät riippuvat kuivikemateriaalien ominaispainoista, jotka saattavat vaihdella huomattavastikin.

Ruokohelpikuivike tuotti selkeästi turvetta enemmän lämpöä, millä on merkitystä erityisesti kylmänä aikana eristämättömissä tuotantorakennuksissa. Kuivikepatjan pinnasta mitatut kaasupitoisuudet olivat pieniä sekä turve- että ruokohelpikuivituksella eivätkä kuivikemateriaalit eronneet tältä osin toisistaan. Ruokohelven pölyävyys oli sen huomattavin haitta.

Ruokohelven viljelyn yhtenä etuna voidaan pitää sitä, että sitä voidaan viljellä niin kivennäismailla kuin eloperäisillä maillakin, minkä lisäksi se soveltuu hyvin myös kosteikkoviljelyyn turvepelloilla. Mikäli ruokohelven kysyntä kuivikkeeksi lisääntyisi, sen kuiviketuotanto voisi olla yksi tulevaisuuden liiketoimintamuoto erityisesti kasvinviljelytiloille. Se tarjoaa myös mahdollisuuksia kotieläin- ja kasvinviljelytilojen väliselle yhteistyölle. Näihin tarvitaan kuitenkin toimivia yhteistyömalleja, jotta kuiviketuotanto saadaan kaikkien osapuolten kannalta taloudellisesti mielekkääksi ja viljelyyn saadaan riittävästi volyyymiä.

4.5. Viitteet

- AOAC 1990. Official Methods of Analysis. Arlington, Virginia, USA: Association of Official Analytical Chemists, Inc.
- Alasuutari, S. & Palva, R. 2014. Kuivitusopas. Työtehoseuran tiedote: Maataloustyö ja tuottavuus 3/2014 (654). 16 s.
- Herva, T. 2021. Selvitys nautojen lantaisuudesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Julkaisussa: Manni, K. & Huuskonen, A. (toim.). Nautatilojen kuivikehuolto. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 54/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 7–21.
- Iivonen, S. 2008. Ympäristöturpeet ja niiden käyttö. Helsingin yliopisto, Ruralia instituutti. Raportteja 32. Mikkeli. 60 s.
- Ilmatieteen laitos. Saatavilla: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>.
- Jeppsson, K-H. 1999. Volatilization of ammonia in deep-litter systems with different bedding materials for young cattle. *Journal of Agricultural Engineering Research* 73: 49–57.
- Joki-Tokola, E. 2021. Kuivikelannan käyttö perustettavan ja kasvavan nurmen lannoituksessa. Julkaisussa: Manni, K. & Huuskonen, A. (toim.). Nautatilojen kuivikehuolto. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 54/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 69–86.
- Misselbrook, T.H. & Powell, J.M. 2005. Influence of bedding material on ammonia emissions from cattle excreta. *Journal of Dairy Science* 88: 4304–4312.
- Manni, K. & Huuskonen, A. 2021. Kuivikkeet vertailussa lihanaudoilla. Julkaisussa: Manni, K. & Huuskonen, A. (toim.). Nautatilojen kuivikehuolto. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 54/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 22–49.
- MMM 2001. Maa- ja metsätalousministeriön rakentamista koskevat määräykset ja ohjeet. Liite 10 MMM:n asetukseen tuettavaa rakentamista koskevista määräyksistä ja suosituksista (100/01): Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto, MMM-RMO C2.2. (Ei enää voimassa, vain ohjeellinen.)
- Munir, T.M., Irle, M., Belloncle, C. & Federighi, M. 2019. Wood based bedding material in animal production: A minireview. *Approaches in Poultry, Dairy & Veterinary Sciences* 6(4): 582–588. DOI: 10.31031/APDV.2019.06.000644.
- Norring, M., Manninen, E., de Passilé, A.M., Rushen, J., Munksgaard, L., Saloniemi, H. 2008. Effects of sand and straw bedding on the lying behavior, cleanliness, and hoof and hock injuries of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 91: 570–576.

- Pahkala, K., Iso-lahti, M., Partala, A., Suokannas, A., Kirkkari, A-M., Peltonen, M., Sahramaa, M., Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E. & Flyktman, M. 2005. Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. Maa- ja elintarviketalous 1. MTT, Jokioinen. 31 s.
- Peltola, I., Nurmisto, U., Kemppainen, E., Helminen, K. & Helminen, J. 1986. Pintaturpeen käyttö lypsylehmien kuivikkeena. Työtehoseuran julkaisuja 274. 151 s.
- Ruokavirasto. 2020. Nautojen puhtauden valvonta teurastamossa. Ohje 5735/04.02.00.01/2020/2. 30 s.
- Saastamoinen, M., Manni, K. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien ominaisuuksien vertailu. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 11–35.
- Saastamoinen, M., Särkijärvi, S. & Hyyppä, S. 2015. Reducing respiratory health risks to horses and workers: A comparison of two stall bedding materials. *Animals* 5: 965–977.
- Tuomisto, L., Mononen, J., Hyvönen, J., Manni, K., Frondelius, L. & Huuskonen, A. 2021. Nuorten lihanautojen kuivikemieltymykset: vertailussa olki, ruokohelpi ja hevosen kuivikelanta. Julkaisussa: Manni, K. & Huuskonen, A. (toim.). Nautatilojen kuivikehuolto. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 54/2021. Luonnon-varakeskus. Helsinki. s. 50–68.
- Tuomisto, L., Mononen, J., Martiskainen, P., Ahola, L. & Huuskonen, A. 2015. Time budgets of finishing bulls housed in an uninsulated barn or at pasture. *Agricultural and Food Science* 24: 173–182.
- Tucker, C.B., Weary, D.M., von Keyserlink, M.A. & Beauchemin, K.A. 2009. Cow comfort in tie-stalls: Increased depth of shavings or straw bedding increases lying time. *Journal of Dairy Science* 92: 2684–2690.

5. Kuivikelantojen ominaisuudet ja typen käyttökelpoisuus

Tapio Salo¹, Katariina Manni¹ ja Maarit Hellstedt²

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 2 C, 31600 Jokioinen

² Maa- ja metsätalousministeriö, PL 30, 00023 Valtioneuvosto

Tiivistelmä

Kuivikelannassa palautuu viljelykasveille ravinteita ja maahan orgaanista ainesta. Kotieläintilojen ravinnehuollossa lannassa kiertävät fosforin lisäksi useat kivennäiset, mutta typpeä tilat joutuvat yleensä hankkimaan tilan ulkopuolelta. Jotta lannassa kiertävä typpi pystyttäisiin hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti, on sen käyttökelpoisuus säilytettävä mahdollisimman hyvin. Kun kuiviketurpeelle etsitään korvaavia materiaaleja, kuivikelannan käytettävyyden ja lannoitusominaisuuksien on säilyttävä turvelannan kaltaisena, ja ympäristövaikutusten on oltava korvattavaa turvetta vähäisemmät.

Broilereilla, hevosilla ja lihanaudoilla käytännön olosuhteissa tehtyjen kuivituskokeiden yhteydessä muodostuneista kuivikelannoista otettiin edustavat näytteet astiakokeiden lannoitusta varten. Lannoitukseen käytetyistä koostenäytteistä määritettiin kokonaishiilen, kokonaistypen ja vesiliukoisien typen pitoisuudet. Vesiliukoisesta tyypestä eroteltiin liukoinen kokonaistyyppi, ammonium ja nitraatti. Lantoja annosteltiin viiden litran kasvatusastioihin 2000 mg kokonaistyppeä vastaavat määrät. Koemaana oli vähämultainen karkea hieta ja koekasvina italian raiheinä. Raiheinästä kerättiin kolme satoa, joista määritettiin kuiva-ainesadon lisäksi typpipitoisuudet. Kuivikelantojen typen käyttökelpoisuutta verrattiin epäorgaanisen typpilannoituksen tuottamiin satotasoihin.

Kaikki broilerinlannan kuivikevaihtoehdot säilyttivät hyvän typpilannoitusvaikutuksen. Broilerin kuivikelantojen osalta havaitaan liukoisien kokonaistypen kuvaavan typpilannoitusvaikutusta paremmin kuin pelkän ammoniumtypen määrityksen. Naudanlannan vaihtoehtoisena kuivikeena käytetty ruokohelpisilppu ei eronnut merkittävästi turpeesta lannoitusvaikutukseltaan. Hevosienlannan osalta kuivikevaihtoehdot erosivat toisistaan eniten. Tekstiilibriketti ei nykyisessä käyttömuodossaan sovellu kuivikelannan mukana peltoon palautettavaksi. Ruokohelpipelletti ja puupohjainen murukuivike sitoivat omaan hajoamiseensa typpeä, mikä on otettava huomioon typpilannoituksen suunnittelussa. Astiakokeessa ei havaittu satovaikutusta, mutta typenotossa erot olivat selkeät.

Asiasanat: typpi, fosfori, lannoitus, ravinteet

5.1. Johdanto

Kuivikkeiden käyttö vaikuttaa eläinten hyvinvointiin, terveyteen ja lopputuotteiden laatuun. Lisäksi kuivikkeet vaikuttavat syntyvän kuivikelannan määrään ja koostumukseen. Lanta ja virtsa itsessään sisältävät paljon ravinteita, kuten typpeä ja fosforia, joten ne ovat arvokasta lannoitetta. Lannan ja virtsan sekoittuessa kuivikemateriaaliin muodostuvan kuivikelannan ravinnepitoisuudet ja ravinteiden hyväksikäyttö saattavat kuitenkin poiketa pelkkään lantaan ja virtsaan verrattuna. Tähän vaikuttaa mm. käytetyn kuivikemateriaalin ravinnepitoisuudet ja kuivikkeen käyttömäärä suhteessa muodostuvan lannan ja virtsan määrään. Mikäli kuivikelantaa prosoidaan ennen lannoitekäyttöä, esim. kompostoidaan, se saattaa myös vaikuttaa kuivikelannan ravintoainepitoisuuksiin ja ravinteiden hyväksikäyttöön.

Kuivikelantojen käyttö ravinnelähteenä ja maanparannusaineena on merkittävä osa maatilojen ravinnekiertoa. Kuiviketurve on yleisesti käytetty kuivikemateriaali erityisesti sen hyvin kuivikeominaisuuksien vuoksi. Lisäksi sen etuna on, että muodostuva kuivikelanta on sellaisenaan käyttökelpoista lannoitekäytössä. Kiristyvien päästötavoitteiden seurauksena paineet turpeen käytön vähentämiseksi ovat kuitenkin kasvaneet. Tämän seurauksena on alettu etsiä turvetta korvaavia kuivikevaihtoehtoja. Sen lisäksi, että turvetta korvaavilla materiaaleilla tulee olla hyvät kuivikeominaisuudet, niiden olisi säilytettävä myös peltokäytössä turpeen hyvät ominaisuudet.

Astiakokeen avulla tutkittiin turvetta korvaavien kuivikemateriaalien vaikutusta kuivikelannan lannoitekäyttöön tutkimalla erityisesti kuivikelantojen sisältämän epäorgaanisen, liukoisen ja kokonaistypen käyttökelpoisuutta. Astiakoe tehtiin raiheinällä, ja kuivikelantojen vaikutusta raiheinän satoon ja typen ottoon verrattiin epäorgaaniseen typpilannoitukseen. Typpimääritysten ja astiakokeiden periaatteita on kuvattu testimenetelmiä esittelevässä julkaisussa (Salo ym. 2013).

5.2. Aineisto ja menetelmät

5.2.1. Kuivikelannat

Kuivikelantojen typen hyväksikäyttöön liittyvä tutkimus tehtiin kuivikelannoista, joita muodostui broilereilla, hevosilla ja lihanaudoilla tuotanto-olosuhteissa tehdyissä kuivikevertailuissa (Da Silva Viana ym. 2022, Saastamoinen ym. 2022, Manni ym. 2022). Kuivikevertailuissa käytetyt materiaalit olivat broilereilla järviruoko- ja ruokohelpisilppu sekä rahkasammal, hevosilla kuteripohjainen murukuivike, ruokohelpipelletti ja tekstiilibriketti ja lihanaudoilla ruokohelpisilppu. Lisäksi kaikissa vertailuissa oli mukana turve kontrollina.

Broilereilla, hevosilla ja lihanaudoilla tuotanto-olosuhteissa tehtyjen kuivikevertailujen päätyttyä otettiin kullakin kuivikemateriaalilla muodostuneista kuivikelannoista näytteet myöhemmin tehtävää astiakoetta varten. Hevosten ja nautojen kuivikelannoista otettiin kolme osanäytettä ja broilerin kuivikelannoista seitsemän. Kuivikelantanäytteet varastoitettiin pakastamalla $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa.

5.2.2. Kuivikelantojen käsittely

Kuivituskoikeesta astiakoetta varten otetut osanäytteet sulatettiin kylmiössä ja sekoitettiin jokainen yhdeksi kuivikemateriaalikohtaiseksi kokoomanäytteeksi. Hevosen ja naudan kuivikelantojen oli kolme osanäytettä jokaista kuivikemateriaalia kohden. Broilerin kuivikelannoista oli seitsemän osanäytettä ja näistä otettiin kokoomanäytteeseen kunkin kuivikemateriaalin typpipitoisuudeltaan keskimmäinen osanäyte (mediaani) ja sen kummallakin puolen olleet

osanäytteet. Lisäksi kuivikelannoista otettiin astiakokeen perustamisen yhteydessä näytteet laboratoriomääriytyksiä varten.

5.2.3. Astiakokeen toteutus

Astiakokeessa selvitetään tutkittavan ravinteiden vaikutus kasvin kasvuun ja sadonmuodostukseen. Muut kasvutekijät pyritään saamaan optimaalisiksi, ja tutkittavan ravinteiden vaikutusta verrataan kontrolliksi annettuihin lannoitustasoihin. Tässä astiakokeessa tutkittiin, miten kuivikelantojen ammonium-, liukoinen ja kokonaistyyppi vaikuttavat kasvuun, ja havaitaanko kuivikelannoissa jotakin muuta kasvuun vaikuttavaa tekijää, joka ei selity niiden typpipitoisuuksilla. Koekasvina käytettiin italian raiheinää, joka on nopeakasvuinen, tehokas ravinteiden ottaja ja käyttää lisätyt ravinteet perättäisten satojen ravinnetarpeen kautta.

Koemaana oli Jokioisten Ketolan lohkolta peräisin oleva vähämultainen karkea hietä. Säkeissä varastoitu maa sekoitettiin ja seulottiin 2 cm:n seulan läpi. Maasta otettiin näyte kuiva-ainepitoisuuden ja pH:n määrittämistä varten, joiden avulla voitiin punnita tarvittava määrä maata koeastioihin ja päättää kalkituksen taso. Maan kuiva-ainepitoisuus oli 93,7 % ja pH 5,6. Koeastioina käytettiin 5 litran altakasteluruukkuja, joihin punnittiin 6,4 kg maata, joka vastasi 6 kg kuivaa maata. Astian pohjalle asetettiin kateharso pitämään maa ruukussa.

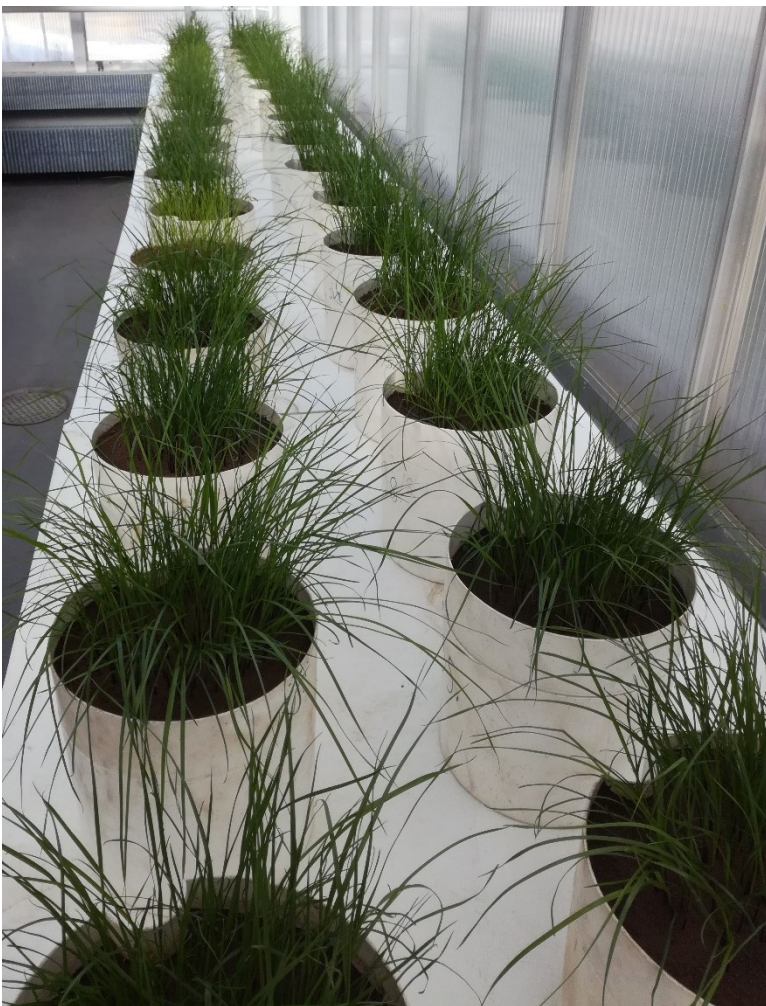
Kalkitusta varten punnittiin kutakin astiaa varten 15 g Ca(OH)_2 , jonka avulla koemaan pH:n tavoiteltiin nousevan 6,35:een. Italian raiheinän (Barmultra II, itävyys 93 % ja tuhannen siemenen paino 3,5 g) siemeniä punnittiin yhtä kasvatusastiaa varten 0,5 g. Jotta muiden ravinteiden kuin typen saatavuus astiakokeessa olisi riittävä, valmistettiin lannoitusliuokset magnesiumsulfaattista, kaliumkloridista ja hivenravinteista. Fosforilannoitusta varten punnittiin jokaista astiaa kohti 10 g superfosfaattirakeita (P 9 %). Epäorgaanisen typpilannoituksen vertailutasoja varten valmistettiin lannoiteliuos ammonium- ja kalsiumnitraatista.

Kuivikelantojen annostelu perustui kuivituskokeista saatujen näytteiden kokonaistypen pitoisuuksiin, joiden perusteella laskettiin jokaiseen astiaan N 2000 mg lannoitus kokonaistypenä. Tämä lannoitus vastasi N 400 mg/ litra maata ja N 333 mg/ kg kuivaa maata. Lisättävät kuivikelantojen määrät olivat broilerin lannalla 72–80 g, naudanlannalla 212–304 g ja hevosen lannalla 521–664 g astiaa kohden. Lantojen kokonaistypen tuottamaa kasvua verrattiin tyypellä lannoittamattomaan käsittelyyn ja typpilannoituksiin, joissa kokonaistyyppipitoisuus oli 500, 1000, 1500 ja 2000 mg/astia mineraalimuodossa.

Koe perustettiin Luken Jokioisten Vitrinia-kasvihuoneeseen 15.3.2021. Tällöin kussakin koeastiassa olevaan maahan sekoitettiin epäorgaaninen typpilannoitus tai kuivikelanta typen läheteeksi (Kuva 1), muut ravinteet ja kalkitusaine. Maan pinnalle kylvettiin raiheinä ja maa kasteltiin lähelle kenttäkapasiteettia. Astiat peitettiin muovilla haihtumisen pienentämiseksi. Raiheinän itämisen jälkeen muovit poistettiin 19.3.2021 ja kasvustoja kasteltiin tarpeen mukaan. Koe toteutettiin kolmella toistolla ja jaettiin kolmeen satunnaistettuun lohkoon kasvihuoneessa. Päivälämpötila oli 18 °C ja yölämpötila 15 °C. Kuvassa 2 raiheinäkasvustoja 15 vuorokautta kylvön jälkeen, 1.4.2021.



Kuva 1. Astiakokeen perustaminen hevosen kuivikelannalla, jossa tekstiilibriketti oli kuivikemateriaalina. Kuva Luke/Tapio Salo.



Kuva 2. Raiheinäkasvustoja astiakokeessa 1.4.2021. Kuva: Luke/Tapio Salo.

Sadonkorjuut tehtiin 19.4.2021 (35 vrk kylvöstä), 10.5.2021 (56 vrk kylvöstä) ja 31.5.2021 (77 vrk kylvöstä). Sadonkorjuussa raiheinäkasvustot leikattiin noin 2 cm:n korkuiseen sänkeen. Raiheinänäytteistä määritettiin tuorepaino, jonka jälkeen näytteitä kuivattiin 60° C:ssa, kunnes paino ei enää vähentynyt. Sen jälkeen määritettiin kuivapaino ja näytteet varastoitiin odottamaan typpianalyysijä.

5.2.4. Mittaukset, näytteet ja analyysit

Kuivikelannan kokoomanäytteiden kuiva-aine, 1:60 vesiuuttoon liennut ammonium-, nitraatti-, liukoinen orgaaninen ja Kjeldahl-typpi määritettiin Luken laboratorioissa Jokioisilla tuoreista näytteistä astiakokeen perustamisen jälkeen. Sen jälkeen näytteet pakastettiin odottamaan myöhemmin tehtyä kokonaishiilimääritystä, joka tehtiin Dumas'n menetelmällä. Näytteiden kuiva-ainepitoisuus määritettiin lämpökaappikuivauksella 105 °C:ssa siihen asti, ettei näytteen paino muuttunut merkittävästi (SFS-EN 13040).

Ammonium- ja nitraattitypen sekä liukoisen orgaanisen typen määrä mitattiin kuivikelannoista tehdystä vesiuutteesta (1:60, v/v). Vesiuutto tehtiin käyttäen 3 ml tilavuutta vastaavaa näytemäärää ja 160 ml vettä (SFS-EN 13652, uuttosuhde muutettu 1:60). Näytteen painoa varten kuivikelannoista oli määritetty yhden litran tilavuuspaino (SFS-EN 13040). Vesiuute suodatettiin noin 10 mikrometrin huokoskoon suodatinpaperin läpi ja suodoksen epäorgaanisen typen pitoisuudet määritettiin Skalar-autoanalyysaattorilla (Skalar SAN++ CFA). Liukoisen orgaanisen typen määritystä varten näytteen orgaaninen aines hajotettiin autoklaavissa peroksidihapon kanssa (SFS-EN 11905-1) ja sen jälkeen määritettiin typpipitoisuus ((Skalar SAN++ CFA).

Kokonaistypen määrä analysoitiin Kjeldahl-tekniikalla (sisäinen menetelmä Luke-JOK3004, SFS-EN 13654-1). Näytteen hajottamisen katalysaattorina käytettiin kuparia ja mittaukseen Foss Kjeltec 2400 Analyzer Unit -laitteistoa (Foss Tecator AB, Höganäs, Ruotsi). Kokonaishiilen määritystä varten pakastetuista näytteistä kuivattiin osanäytteet 37° C:ssa ja jauhettiin kompostimyllyllä 1 mm seulan läpi. Jauhetut näytteet määritettiin LECO Trumac CN-analyysaattorilla (LECO Corporation, St. Joseph, MI, USA). Raiheinänäytteet jauhettiin 1 mm seulan läpi ja typpipitoisuus määritettiin Kjeldahl-menetelmällä (sisäinen menetelmä Luke-JOK3004).

5.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

5.3.1. Kuivikelantojen ominaisuudet astiakokeessa

Kuivikelantojen typpipitoisuudet (Taulukko 1) erosivat kokoomanäytteissä jonkin verran kuivituskoekiden yhteydessä otettujen ja analysoitujen kuivikelantanäytteiden tuloksista (Da Silva Viana ym. 2022, Saastamoinen ym. 2022, Manni et al. 2022). Broilerin kuivikelannoissa ammoniumtypen pitoisuus oli noussut selvästi orgaanisen typen mineralisaation takia. Myös kokonaistypen pitoisuus oli lisääntynyt hieman tuorepainoa kohden, koska lanta oli kuivunut pakasvarastoinnin ja kokeen perustamisen aikana. Astiakokeen kuivikelantojen lannoitukset laskeettiin kokoomanäytteiden tulosten perusteella ammonium-, liukoista kokonaistyppeä (epäorgaaninen + orgaaninen) ja kokonaistyppeä kohti. Ammoniumtypen määrä oli broilerin kuivikelannoissa 4–6 g/kg, ja näissä lannoissa vesiliukoista orgaanista typpeä vapautui uuttoneesteseen huomattavasti. Vesiliukoinen typpi, joka sisältää sekä epäorgaanisen että veteen liuenneen pienikokoisiin yhdisteisiin sitoutuneen orgaanisen typen, oli broilerin lannoissa 14–19 g/kg.

Taulukko 1. Astiakokeen perustamisessa käytettyjen kokoomanäytteiden ominaisuudet. Typpipitoisuudet on esitetty tuorepainoa kohden. C/N-suhde on laskettu kokonaishiilen ja Kjeldahl-menetelmän mukaisen kokonaistypen avulla.

Eläin	Kuivikelanta	Kuiva- aine, %	Ammo- nium- typpi, g/kg	Vesi- liukoinen N g/kg	Koko- nais- typpi, g/kg	Koko- naishiili, % ka.	C/N
Broileri	Turve	65,2	4,7	14,2	29,7	43,0	9,4
	Järviruoko- silppu	58,2	6,1	19,3	32,7	41,2	7,3
	Ruokohelpi- silppu	61,5	4,3	14,5	29,6	42,3	8,8
	Rahkasammal	72,7	4,1	13,7	33,7	42,4	9,2
Hevonen	Turve	23,8	0,4	0,9	4,0	47,7	28,6
	Murukuivike	29,1	0,4	1,0	2,9	47,8	48,1
	Ruokohelpipel- letti	29,0	0,3	1,1	4,5	45,4	29,1
	Tekstiilibriketti	36,4	0,2	1,2	3,0	44,9	54,6
Nauta	Ruokohelpi	30,7	0,3	2,4	8,0	44,1	17,0
	Turve	37,6	1,2	1,6	9,6	52,8	20,8

Hevosen kuivikelantojen typpipitoisuudet olivat alhaisimpia kaikkien typen muotojen osalta. Eniten kokonaistyppeä sisälsivät lannat, joiden kuivikkeena oli turve tai ruokohelpipelletti. Naudan kuivikelantojen kokonaistypen pitoisuudet olivat 8 tai 10 g/kg, josta vesiliukoista oli noin 2 g/kg.

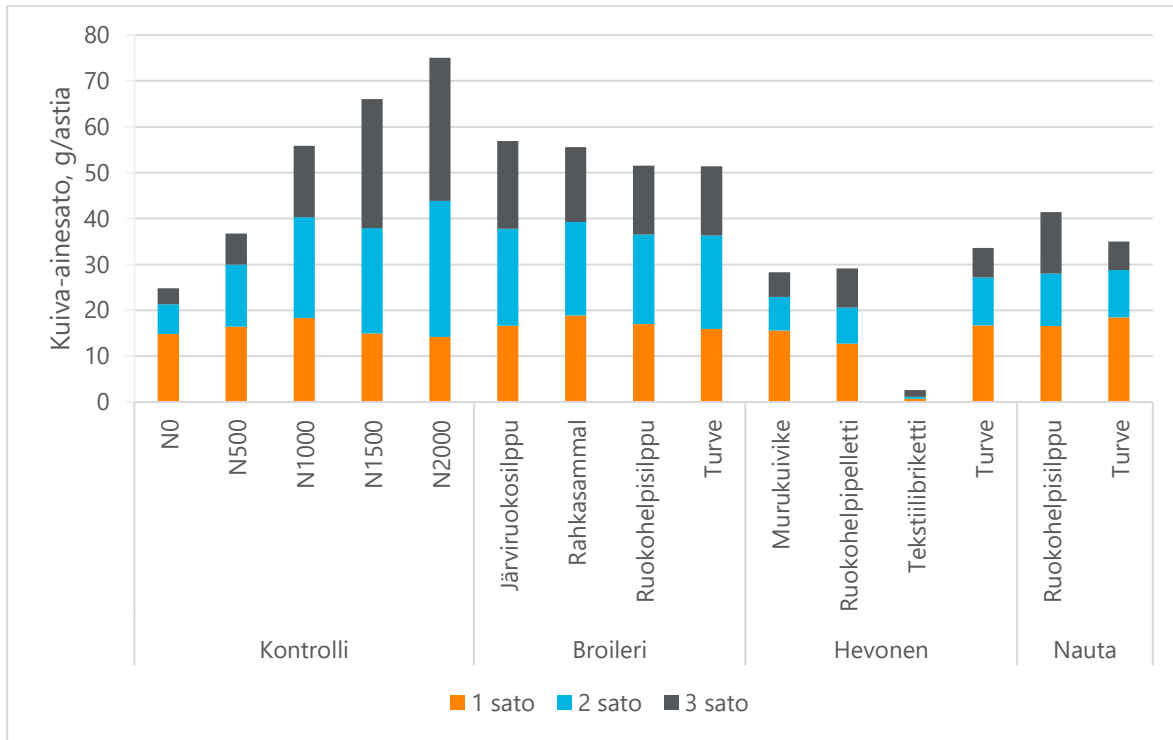
Vesiliukoinen kokonaistyyppi sisältää ammoniumtypen lisäksi pienikokoisia orgaanisia typpiyhdisteitä ja sen pitoisuus oli lähes kaikissa kuivikelannoissa vähintään kaksin tai kolminkertainen ammoniumtypen pitoisuuteen verrattuna. Usein liukoinen kokonaistyyppi kuvaa hyvin typpilannoitusvaikutusta, koska pienikokoiset typpiyhdisteet hajoavat maaperässä nopeasti ammoniumtypeksi. Nitraattityppeä lannoissa ei ollut.

Hiilityppisuhde oli broilerin kuivikelannoissa kaikilla kuivikemateriaaleilla alle 10, jolloin kuivikelantojen typen pitäisi vapautua nopeasti. Pienimmät hevosen kuivikelantojen hiilityppisuhteet olivat turve- ja ruokohelpipellettikuivituksella ollen vähän alle 30 ja suurin hiilityppisuhde 54 oli tekstiilibriketillä, minkä perusteella lannoista ei voida olettaa vapautuvan orgaanista typpeä vaan luultavasti orgaanisen aineen hajoaminen sitoo mikrobeihin maassa olevaa epäorgaanista typpeä. Naudan kuivikelantojen hiilityppisuhde oli lähellä kahtakymmentä, jolloin typen vapautumista orgaanisesta aineksestä voidaan arvioida tapahtuvan.

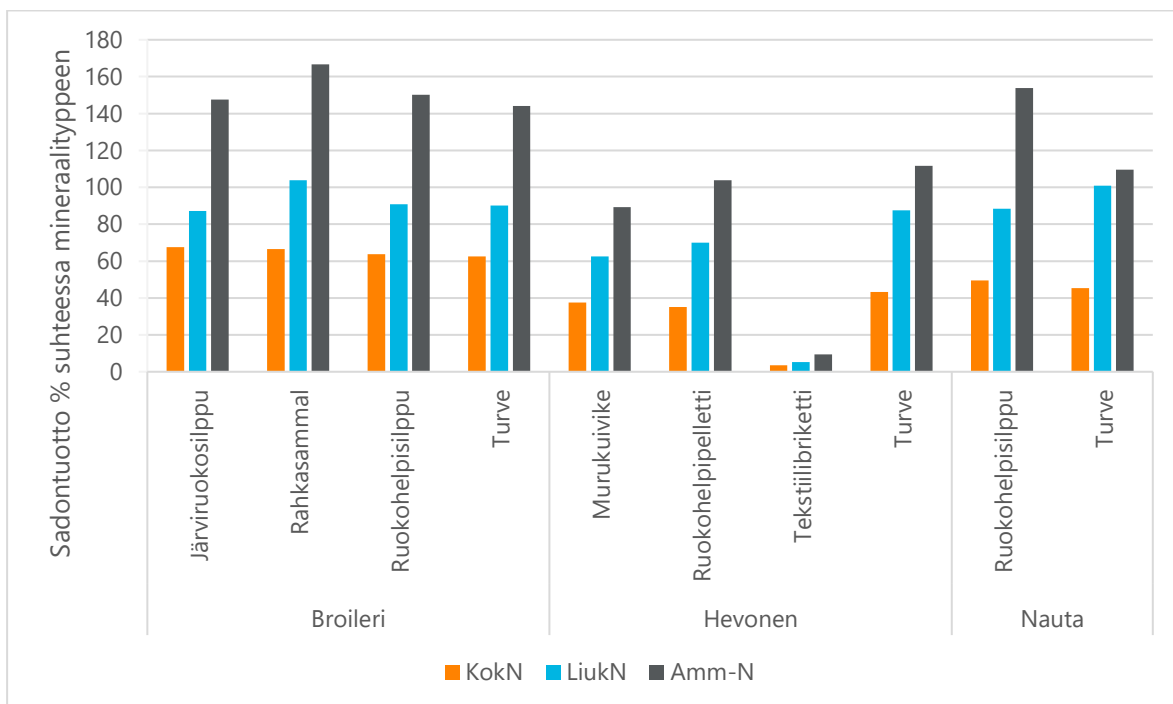
5.3.2. Kuivikelantojen vaikutus raiheinän satoon

Broilerin kuivikelannat tuottivat hyvän sadon ja niissä lisätty kokonaistyyppi vastasi 62–68 prosenttisesti kontrollilannoitusta (Kuva 3). Liukoisen typen määrä vastasi 90 prosenttisesti kontrollilannoitusta (Kuva 4). Broilerin kuivikelantojen välillä ei ollut eroja kuiva-ainesadon tuotossa. Tekstiilibriketti hevosen kuivikelannassa esti raiheinän kasvun lähes täysin. Muiden hevosenlannan kuivikkeiden sisältämä kokonaistyyppi vastasi 35–43 prosenttisesti kontrollilannoitusta.

Turvelanta tuotti hieman paremman sadon kuin murukuivike tai ruokohelpipelletti. Naudan kuivikelannoissa lisätty kokonaistyyppi vastasi 45–49 prosenttisesti kontrollilannoitusta (Kuva 3). Ruokohelpisilppu tuotti hieman paremman raiheinän kasvun kuin turve. Liukoisen typen määrä vastasi turvelannassa täysin kontrollilannoitusta ja ruokohelpisilpun osalta 88 prosenttisesti (Kuva 4).



Kuva 3. Raiheinän kuiva-ainesadot astiakokeen kolmessa sadossa.



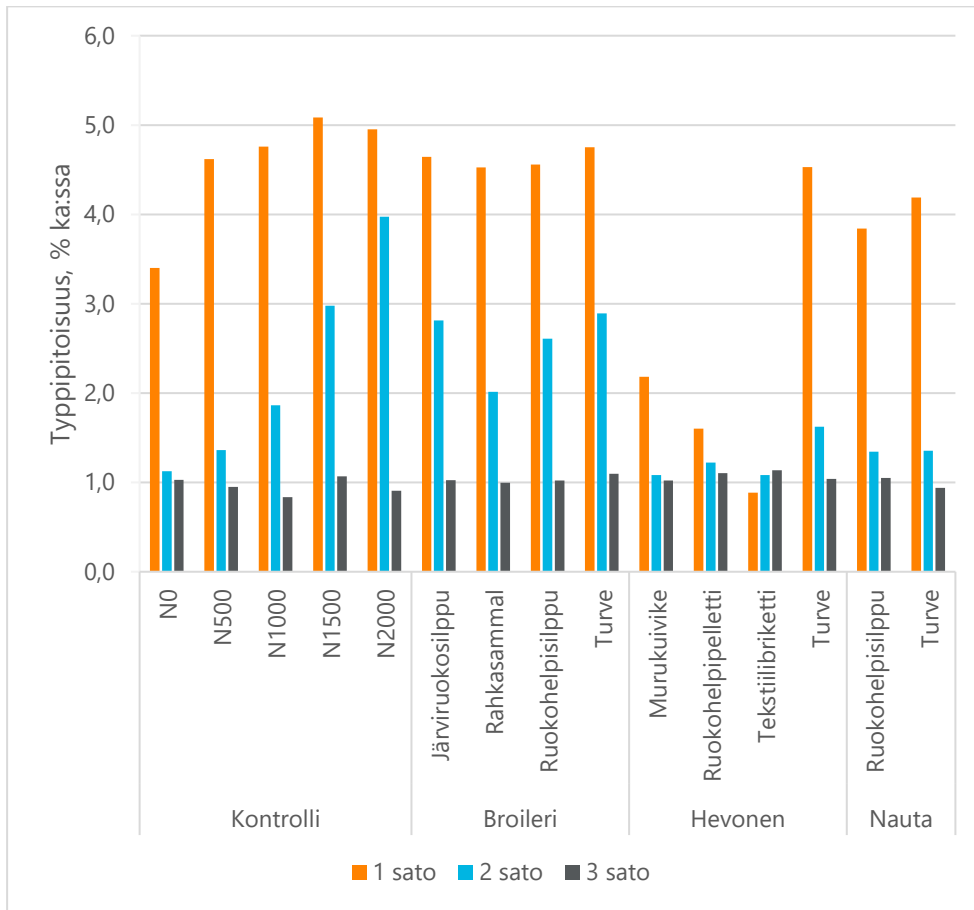
Kuva 4. Kuivikelantojen sadontuotto suhteessa niiden kokonais- liukoisen ja ammoniumtypen määrään.

5.3.3. Kuivikemateriaalien vaikutus raiheinän typenottoon

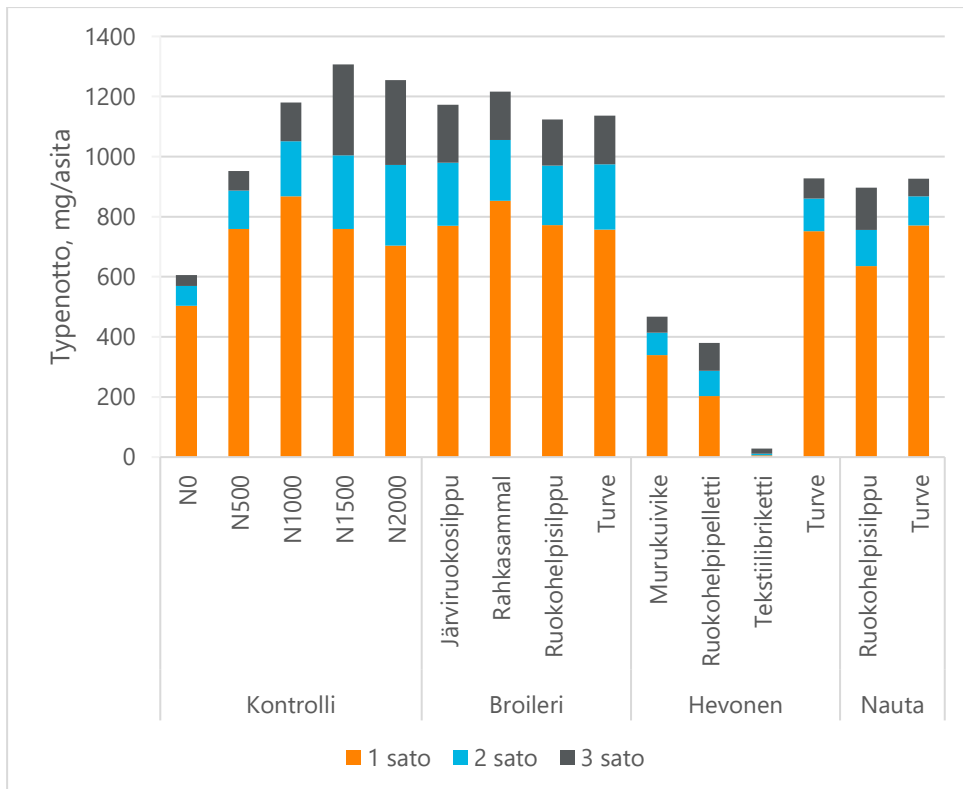
Raiheinän ensimmäisen sadon typpipitoisuudet olivat hyvin satoa tuottaneissa kasvustoissa 4,5–5,1 % kuiva-aineesta laskettuna (Kuva 5). Hevosenselän puupohjainen murukuivike ja ruokohelpipelletti aiheuttivat alhaisen raiheinän typpipitoisuuden ja typenoton (Kuva 6), vaikka raiheinän kasvu oli lähes yhtä hyvä kuin hevosen turvelannassa. Toisessa raiheinän sadossa kolme korkeinta typpilannoituskontrollia tuottivat raiheinän typpipitoisuuksiksi kahdesta neljään prosenttiyksikköön kuiva-aineessa, mikä riitti hyvään satoon. Kaikissa broilerin kuivikelannoissa typen saatavuus ja raiheinän typpipitoisuus olivat myös hyvät. Kolmannessa sadonkorjuussa kaikkien lannoituskäsittelyjen typpi oli käytetty, ja raiheinän typpipitoisuudet kuiva-aineessa olivat yhden prosenttiyksikön lähellä (Kuva 5). Suurimmat kontrollilannoitukset tuottivat kuitenkin edelleen hyvän kasvun, mutta typen otto oli pieni (Kuva 6).

Typen saatavuutta kuivikelannoista arvioitiin näennäisen hyväksikäytön avulla. Lannoituskäsittelyn kolmeen satoon ottamasta typpimäärästä vähennettiin lannoittamattoman käsittelyn ottama typpi, ja tämä erotus jaettiin kuivikelannan liukoisen tai kokonaistypen määrällä. Kaikkien broilerin kuivikelantojen kokonaistypen näennäinen hyväksikäyttö oli hieman yli 20 % (Kuva 7). Rahkasammalen liukoisen typen hyödyntäminen oli 60 % ja muiden broilerin kuivikelantojen 40–50 %. Hevosenselän kuivikelannoista ainoastaan turpeen vaikutus oli positiivinen typenottoon. Turpeen kuivikelannan kokonaistypen hyväksikäyttö oli 16 % ja liukoisen typen 70 %. Vaikka murukuivikkeen ja ruokohelpipelletin vaikutus raiheinän kasvuun ei ollut paljoa turvetta heikompi, typen sitoutuminen näiden kuivikelantojen hajotukseen havaittiin negatiivisena typen hyväksikäyttönä. Joissain olosuhteissa näiden kuivikkeiden aiheuttama typen sitoutuminen on kompensoitava lisätypen antamiselle. Naudan kuivikelantojen kokonaistypen hyväksikäyttö oli 12–16 %. Turvelannan liukoisen typen hyödyntäminen oli korkea, koska lähes kaikki liukoisesta tpeestä oli ammoniumina.

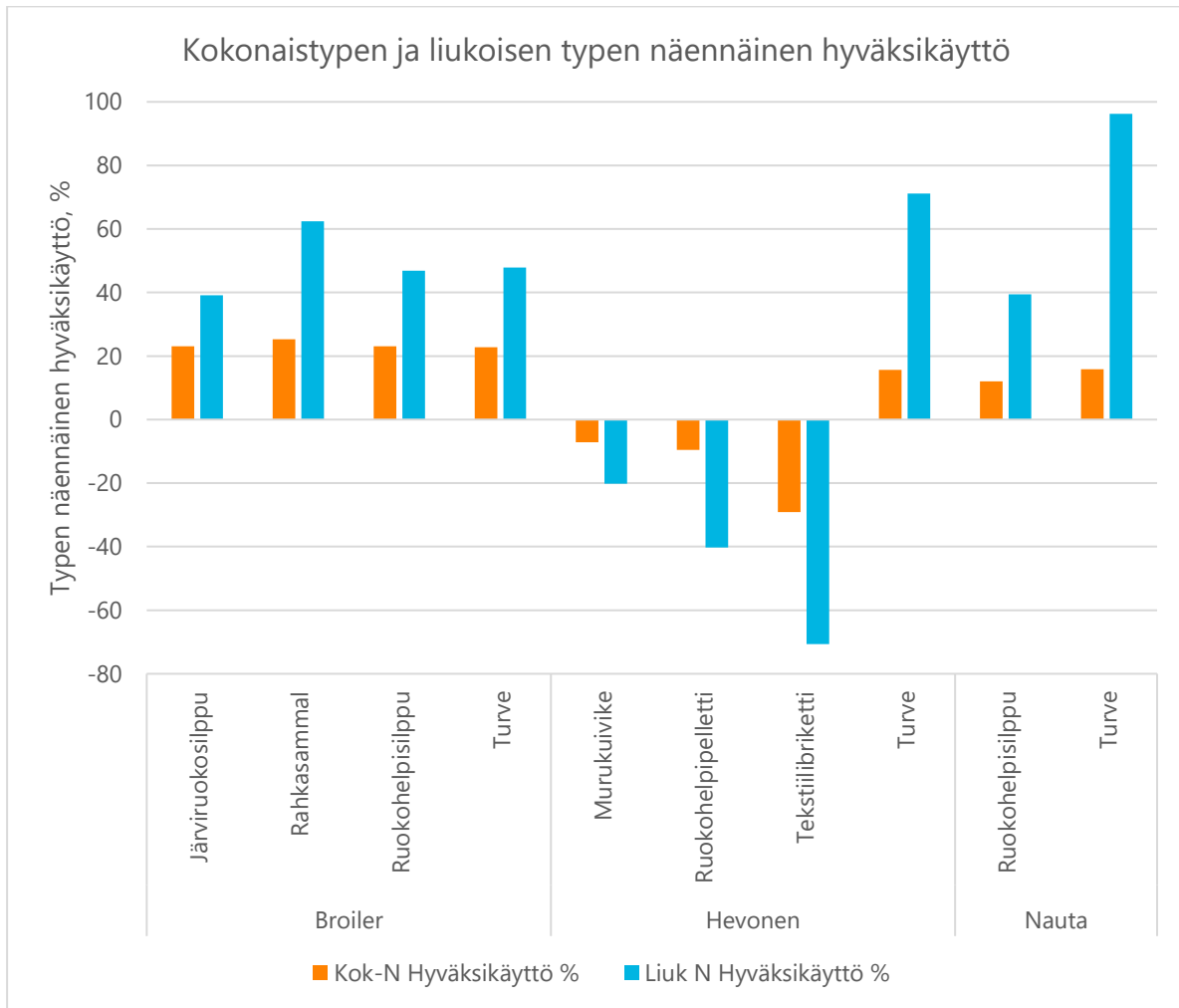
Broilerinlannan typen hyvä käyttökelpoisuus havaittiin myös Keskinen ym. (2020) kokeissa, joissa rakeistetun broilerinturvelannan typpi vastasi 35–43 %:a mineraalilannoitteen tpeestä. Heidän kokeissaan typen näennäinen hyväksikäyttö oli sekä astiakokeessa raiheinällä että kenttäkokeessa sipulilla 32 %. Hevosenselän korkea hiilityppisuhde kuvaa hyvin lannan ominaisuutta sitoa maan epäorgaanista tpeä hajoamiseensa. Tämä on havaittu mm. inkubaatiokokeessa, jossa kuivikkeina käytettiin kutterinlastuja ja olkipellettejä (Keskinen ym. 2017). Kun samassa kokeessa käytettiin turvekuiviketta, alussa tapahtui myös typen vapautumista, mutta vapautunut epäorgaaninen typpi sitoutui takaisin mikrobeihin ja hajoavaan kuivikelantaan. Naudan kuivikelantojen kokonaistypen näennäinen hyväksikäyttö on kokeissa yleensä 8–16 % (Hao ym. 2016, Thomsen 2005), mikä on samaa tasoa kuin tässä astiakokeessa.



Kuva 5. Raiheinän kolmen sadon typpiipitoisuudet.



Kuva 6. Raiheinän typenotto astiakokeen kolmessa sadossa.



Kuva 7. Kuivikelantojen kokonais- ja liukoisen typen näennäinen hyväksikäyttö.

5.4. Johtopäätökset

Kaikki broilereilla käytetyt kuivikemateriaalit säilyttivät hyvän typpilannoitusvaikutuksen. Broilerin kuivikelantojen osalta on hyvä huomata liukoisen kokonaistypen kuvaavan typpilannoitusvaikutusta paremmin kuin pelkän ammoniumtypen määrityksen. Naudanlannan vaihtoehtoisena kuivikkeena käytetty ruokohelpisilppu ei eronnut merkittävästi turpeesta lannoitusvaikutukseltaan. Hevosienlannan osalta eri kuivikemateriaalit erosivat toisistaan eniten. Tekstiilibriketti ei nykyisessä käyttömuodossaan sovellu kuivikelannan mukana peltoon levitettäväksi. Ruokohelpipelletti ja puupohjainen murukuivike sitoivat omaan hajoamiseensa typpeä, mikä on otettava huomioon typpilannoituksen suunnittelussa. Astiakokeessa näillä materiaaleilla ei havaittu satovaikutusta, mutta typenotossa erot olivat selkeät.

Typen käyttökelpoisuuden kannalta turpeen veroisia broilerin ja nautojen kuivikkeita olivat kasvipohjaiset järviruoko, rahkasammal ja ruokohelpi. Muut ominaisuudet ratkaisevat niiden käyttökelpoisuuden turpeen korvaajana. Hevosienlannassa on matala typpipitoisuus, jolloin kuivikelannan hajoaminen sitoo helposti maan mineraalityppeä pois kasvien käytöstä. Turve oli typen käyttökelpoisuuden kannalta muita kuivikkeita parempi, mutta hevosen kuivikelannan käytössä on usein tärkeintä maanparannusvaikutus ja typen saatavuudesta on huolehdittava muilla tavoin.

5.5. Viitteet

- Da Silva Viana, G., Högel, H., Manni, K. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien vertailu broilereilla. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 36–49.
- Hao, X., Thomas, B.W., Nelson, V. & Li, X. 2016. Agronomic values of anaerobically digested cattle manure and the separated solids for barley forage production. *Soil Science Society of America Journal* 80: 1572–1584.
- Keskinen, R., Saastamoinen, M., Nikama, J., Särkijärvi, S., Myllymäki, M., Salo, T. & Uusi-Kämppä, J. 2017. Recycling nutrients from horse manure: effects of bedding type and its compostability. *Agricultural and food science* 26 2: 68-79.
- Keskinen, R., Suojala-Ahlfors, T., Sarvi, M., Hagner, M., Kaseva, J., Salo, T., Uusitalo, R. & Rasa, K. 2020. Granulated broiler manure based organic fertilizers as sources of plant available nitrogen. *Environmental Technology & Innovation* 18: 12 p
- Manni, K. & Huuskonen, A. 2021. Kuivikkeet vertailussa lihanaudoilla. Julkaisussa: Manni, K. & Huuskonen, A. (toim.). Nautatilojen kuivikehuolto. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 54/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 22–49.
- Manni, K., Saastamoinen, M. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien vertailu lihanaudoilla. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 66–81.
- Saastamoinen, M., Manni, K. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien ominaisuuksien vertailu. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 11–35.
- Saastamoinen, M., Manni, K. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien vertailu hevosilla. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 50–65.
- Salo, T., Palojärvi, A., Kukkonen, S., Vestberg, M., Kapuinen, P., Tontti, T., Ylivainio, K., Parikka, P., Nummila, M., Maunuksela, L., Lindström, K., Orasmaa, S. & Paulin, L. 2013. Orgaanisten lannoitevalmisteiden vaikutus kasvien kasvuun – testimenetelmät. MTT raportti 101. <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti101.pdf>
- SFS-EN ISO 11905-1: 1998. Veden typen määrittäminen. Peroksidisulfaattihapetus. Dertermination of nitrogen in water. Oxidation with peroksidisulfate. 23 s.
- SFS-EN 13040: 2008. Maanparannusaineet ja kasvualustat. Näytteen esikäsittely kemiallisia ja fysikaalisia kokeita varten, kuiva-ainepitoisuuden, kosteuspitoisuuden ja tiivistetyn laboratoriotilavuuspainon määrittäminen. 16 s
- SFS-EN 13652: 2002. Maanparannusaineet ja kasvualustat. Vesiliukoisten ravinteiden ja alkuainesten uuttaminen. 30 s.
- SFS-EN 13654-1: 2002. Soil improvers and growing media. Determination of nitrogen. Part 1: Modified Kjeldahl method. 11 p.
- Thomsen, I.K. 2005. Crop N utilization and leaching losses as affected by time and method of application of farmyard manure. *European Journal of Agronomy*. 22:1–9.

6. Kuivikemateriaalien käytön kannattavuus

Ari-Matti Seppänen¹, Katariina Manni² ja Maarit Hellstedt³

¹ Luonnonvarakeskus (Luke), Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

² Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 2 C, 31600 Jokioinen

³ Maa- ja metsätalousministeriö, PL 30, 00023 Valtioneuvosto

Tiivistelmä

Turveke-hankkeessa hevosilla, broilereilla ja lihanaudoilla tuotanto-olosuhteissa tehdyn kuivikevertailun tuottaman tiedon perusteella arvioitiin kuuden turvetta korvaavan kuivikemateriaalin käytön kannattavuutta tilanäkökulmasta. Kuivikevertailussa tuotettua aineistoa täydennettiin kirjallisuudesta peräisin olevalla tiedolla ja kuivutuskustannuksien vertailukohtana käytettiin turvekuivutusta. Kuivutuskustannuksiin sisällytettiin kuivituksen ostokustannukset, työ- ja kustannukset sekä kuivikelannan levityksen kustannukset.

Kannattavuusvertailussa kuivikkeiden ostokustannusten muodostamiseen käytettiin kuivikevertailussa olleiden materiaalien senhetkisiä hankintahintoja. Lisäksi kehittymässä oleville ruokohelpi- ja järviruokopohjaisille kuivikkeille arvioitiin kirjallisuuslähteiden perusteella laskennalliset hinnat, joilla pystyttiin ennustamaan niiden markkinahintoja tuotannon yleistyessä ja tehostuessa.

Kuivikemateriaalien ostokustannukset olivat kuivutuskustannuksen merkittävin tekijä. Hevosilla pilotoitunut murukuivike, ruokohelpipelletti ja tekstiilibriketti olivat kaikki käyttömääriltään (m³) turvetta pienempiä, jolloin myös kuivutuskustannukset olivat pienemmät. Syntyvän kuivikelannan määrässä (m³) turve, murukuivike ja ruokohelpipelletti olivat samaa suuruusluokkaa. Tekstiilibriketin kuivikelannan tilavuuspaino oli muihin kuivikkeisiin verrattuna pienempi, minkä seurauksena sen levityskustannukset nousivat muita suuremmiksi. Hevosilla eläinpaikkakohtainen kuivutuskustannus oli murukuivikkeella 1 189 €/v, ruokohelpipelletillä 1 140 €/v ja tekstiilibriketillä 3 300 €/v, kun turvekuivituksella se oli 616 €/v.

Lihanaudoilla pilotoitu ruokohelpisilppu vaati vähemmän kuivitustyötä kuin turve, mutta kuivikelannan poisto ja peltolevitys oli työläämpää. Kuivutuskustannus lihanaudan yhtä eläinpaikkaa kohden oli ruokohelpisilpulla 1 592 €/v ja turvekuivituksella 923 €/v.

Broilereiden kuivikkeina käytetyillä järviruokosilpulla, ruokohelpisilpulla ja rahkasammaleella muodostui sama määrä kuivikelantaa, kuin turvekuivituksessa. Järviruoko- ja ruokohelpisilppua käytettäessä niitä kului vähemmän kuin kuiviketurvetta, kun taas rahkasammaleella käyttömäärä (m³) oli turvetta suurempi. Turpeella eläinpaikan kuivutuskustannus oli 1,06 €/v, järviruokosilpulla 1,40 €/v, ruokohelpisilpulla 1,50 €/v ja rahkasammaleella 2,10 €/v.

Tarkasteltaessa vielä kehitysvaiheessa olevia ruokohelpi- ja järviruokopohjaisia kuivikkeita laskennallisten hintojen avulla, on ennustettavissa, että ruokohelvestä tulisi talousnäkökulmasta katsottuna kilpailukykyinen kuivike turpeelle sekä lihanaudoilla että broilereilla ja järviruosta broilereilla. Pilotointivaiheessa oleville tekstiilibriketille ja rahkasammaleelle ei vastaaviin ennusteisiin ollut saatavilla tarpeeksi tietoa.

Asiasanat: kotieläin, kuivitus, kustannus, talous

6.1. Johdanto

Kiristyvät päästötavoitteet ovat lisänneet painetta löytää kuiviketurpeelle korvaajia kotieläintaloudessa. Turpeen perinteiset vaihtoehdot, kuten olki ja kutterinpuru, eivät ole onnistuneet haastamaan turpeen vakiintunutta asemaa kotieläinten kuivikkeena. Haasteina ovat olleet mm. suuremmat käyttömäärät, vaihteleva saatavuus ja kuivikelannan mahdollinen kompostointitarve. Energiapoliittisestikin tuetun turvetuotannon oheistuotetta, kuiviketurvetta on ollut hyvin saatavilla ja edulliseen kuutiohintaan. Tässä osiossa vertaillaan kappaleissa 2., 3. ja 4. käytännön olosuhteissa broilereilla, hevosilla ja lihanaudoilla tutkittujen turvetta korvaavien kuivikemateriaalien käytön kannattavuutta turvekuivitukseen verrattuna.

6.2. Aineisto ja menetelmät

Kuivikemateriaalien käyttöön liittyvät kannattavuuslaskelmat tehtiin perustuen aineistoon, joka tuotettiin hevosilla, lihanaudoilla ja broilereilla tuotanto-olosuhteissa tehdyissä kuivikevertailuissa (Saastamoinen ym. 2022a, Manni ym. 2022, Da Silva Viana ym. 2022). Kuivikevertailuissa käytetyt materiaalit olivat hevosilla kutteripohjainen murukuivike, ruokohelpipelletti ja tekstiilibriketti, lihanaudoilla ruokohelpisilppu ja broilereilla järviruoko- ja ruokohelpisilppu sekä rahkasammal. Kaikissa vertailuissa käytettiin kuiviketurvetta kontrollina.

Turvetta korvaavien vaihtoehtoisten kuivikemateriaalien kustannuksia verrattiin turvekuivituksen kustannuksiin. Kuivituskustannuksiin sisällytettiin kuivikkeen hankintahinta sekä kuivikepohjan perustamisen, tyhjennyksen, kuivitustyön ja lannanlevityksen aiheuttamat työkustannukset. Koska työmenekkejä ei pilotoinnissa pystytty mittaamaan, täydennettiin aineistoa tältä osin kirjallisuuden pohjalta.

Hankkeessa vertaillut vaihtoehtoiset kuivikemateriaalit vaihtelivat tuotannon kehitysasteeltaan vakiintuneen tuotannon ja pilotointivaiheen välillä. Tämän vuoksi vakiintuneille tuotteille käytettiin senhetkisiä markkinahintoja ja kehittymässä oleville kuivikkeille markkinahintojen lisäksi laskennallisia hintoja. Markkinahintoina käytettiin kuivikevertailussa olleiden materiaalien senhetkisiä hankintahintoja (€/m³). Laskennalliset hinnat muodostettiin arvioimalla kirjallisuuden perusteella kuivikkeiden hintojen kehittymistä tuotannon tehostuessa ja vakiintuessa. Tämän lisäksi oltiin yhteydessä alan toimijoihin ja urakoitsijoihin ja heiltä kysyttiin näkemyksiä hintojen kehitykseen. Laskennallista hintaa käytettiin ruokohelpipelletille, ruokohelpisilpulle sekä järviruokosilpulle. Pilotointivaiheessa olevien rahkasammaleen ja tekstiilibriketin tuotannolle ei vielä ollut saatavilla kirjallisuuteen perustuvia hintatietoja, joten niiden osalta hintana käytettiin tuottajan arviota kustannusperusteisesta nykyhinnasta.

Kuivikepilotointien aikana kerätyt aineistot kuivituspohjan kuivikemenekistä ja päivittäisestä kuivitustarpeesta toimivat pohjana kuivituksen kannattavuustarkastelulle. Käytetyt kuivikemateriaalien tilavuuspainot määritettiin hankkeen alussa laboratoriomittakaavassa tehtyjen kuivikemateriaalien ominaisuuksien vertailujen yhteydessä (Saastamoinen ym. 2022b). Työt oletettiin toteutettavan hevosten kuivituksessa käsityönä (18,30 €/h; Elstob & Palva 2014) sekä broilerien ja lihakarjan kuivituksessa etukuormaajalla (58,30 €/h; Palva 2021). Työmenekki arvioitiin kuutioperusteisesti ja se oli käsityönä tehtynä 20 min/m³ ja etukuormaajalla tehtynä 5 min/m³ (Alasuutari ym. 2014).

Kuivikelantaa oletettiin syntyvän eläinsuojissa Suomen normilantajärjestelmän mukaisesti (Luostarinen ym. 2017). Koska laidunnus ei ollut käytössä tuotanto-olosuhteissa tehdyissä kuivikemateriaalien vertailuissa, sitä ei myöskään huomioitu kannattavuuslaskelmissa. Kuivikepohjien perustaminen ja tyhjennys oletettiin tehtävän tyypillisten tuotantokäytäntöjen mukaisesti,

hevosilla 6 krt/v, lihanaudoilla 2 krt/v ja broilereilla 7 krt/v. Syntyvän kuivikelannan määrää ei mitattu kuivikevertailuissa, joten sen määrä arvioitiin kirjallisuuden perusteella. Kuivikkeen massan oletettiin pysyvän samana, jolloin syntyvän kuivikelannan määrä pystyttiin johtamaan käytetyn kuivikkeen ja syntyneen lannan määrästä. Kuivikelannasta tehdyt laboratorioanalyysit mahdollistivat syntyneen kuivikelantamassan tilavuuden määrittämisen. Kuivikelanta oletettiin levitettäväksi lähipelloille urakointina. Kuivikelannan varastointitarpeen muutoksien tai kompostoinnista aiheuttamia kustannuksia ei sisällytetty osaksi kustannuslaskelmia.

6.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

Käytettyjen kuivikkeiden hinnat vaihtelivat huomattavasti riippuen siitä, tarkasteltiinko hintaa suhteessa massaan vai tilavuuteen. Hevosilla, broilereilla ja lihanaudoilla tehdyissä kuivikevertailuissa käytettyjen kuivikkeiden hinnat ja tilavuuspainot sekä ruokohelpi- ja järviruokopohjaisten kuivikkeiden laskennalliset hinnat on esitetty Taulukossa 1. Laskennalliset hinnat muodostettiin kirjallisuuden perusteella alkutuotannon (Pahkala ym. 2005, Joensuu ym. 2014), kuljetuksen (Lindh ym. 2009) ja jatkojalostuksen (Nilsson ym. 2011) osalta. Laskennallisessa hinnassa huomioitiin optimoituvien tuotantokulujen lisäksi 20 %:n kate osana hinnanmuodostusta.

Taulukko 1. Kuivikkeiden hinnat ja tilavuuspainot

Kuivike	Tilavuuspaino, kg/m ³ ¹⁾	Hinta, €/m ³	Hinta, €/kg	Laskennallinen hinta, €/kg
Turve	150,2	12,5	0,08	tp ²⁾
Ruokohelpipelletti	603,7	170,4	0,28	0,16
Ruokohelpisilppu	140,9	50,0	0,35	0,15
Järviruokosilppu	101,4	50,0	0,49	0,30
Murukuivike	518,7	166,0	0,32	tp ²⁾
Tekstiilibriketti	250,0	175,0	0,70	tp ²⁾
Rahkasammal	120,0 ³⁾	35,0	0,29	tp ²⁾

¹⁾ Määritetty kuivikemateriaalien laboratoriomittakaavan mittausten yhteydessä (Saastamoinen ym. 2022b).

²⁾ Tietoa ei saatavilla.

³⁾ Tieto saatu Biolan Oy:ltä.

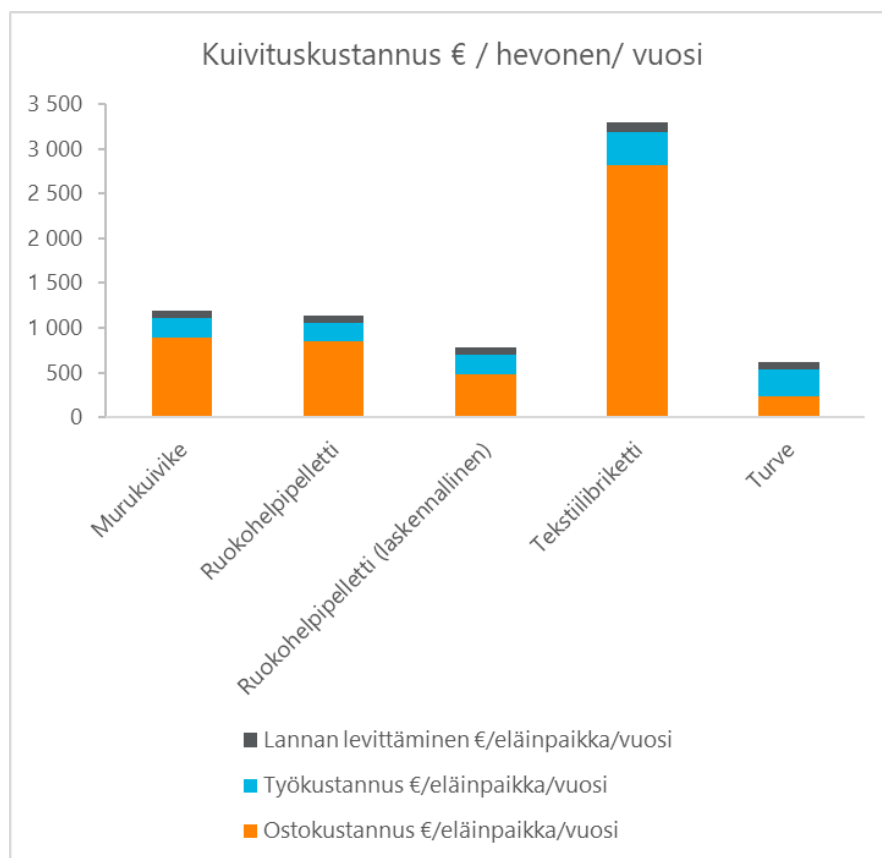
6.3.1. Hevoset

Hevosilla kuivikkeiden käyttömäärät ja kuivikelannan määrät vaihtelivat huomattavasti. Murukuivikkeen ja ruokohelpipelletin käyttömäärät (m³/eläinpaikka/v) olivat turvetta huomattavasti pienemmät (Taulukko 2), jolloin myös kuivitustyön kustannus jäi pienemmäksi. Tekstiilibrikettiä käytettäessä kuivikelanta ei ollut niin tiivistä kuin muiden kuivikkeiden, mikä lisäsi kuivikepohjan tyhjennykseen tarvittavaa työaika.

Taulukko 2. Hevosten kuivituksessa käytetyt kuivikemäärät ja laskennalliset kuivikelantamäärät.

Hevoset	Kuivitus		Kuivikelanta	
	kg/eläinpaikka /vuosi	m ³ /eläinpaikka /vuosi	m ³ /eläinpaikka /vuosi	Tilavuuspaino, kg/m ³
Murukuivike	2 761	5,3	31,1	323
Ruokohelpipelletti	3 012	5,0	30,4	339
Tekstiilibriketti	4 020	16,1	44,2	256
Turve	2 762	18,4	31,2	323

Kokonaiskustannusten osalta tekstiilibriketti oli muita kuivikkeita huomattavasti korkeampi sekä ostokustannusten, työkustannusten ja lannan levittämiskustannusten osalta (Kuva 1). Murukuivikkeen ja ruokohelpipelletin kustannukset olivat lähes samansuuruiset, mutta nekin ylittävät turvekuivituksen kokonaiskustannuksen. Turvekuivituksen kustannus yhtä eläinpaikkaa kohden oli 616 €/v, josta kuivikkeen ostokustannuksen osuus oli 230 € ja kuivitustyön 302 €. Murukuivikkeen ja ruokohelpipelletin kuivitustyön kustannukset olivat turpeeseen verrattuna noin kolmanneksen pienemmät, mutta korkeammat ostokustannukset nostivat kuivituskustannukset kuitenkin turvetta suuremmiksi ollen murukuivikkeella 1 190 €/v ja ruokohelpipelletillä 1 141 €/v yhtä eläinpaikkaa kohden. Tekstiilibriketin eläinpaikkakohtainen kuivituskustannus oli 3 300 €/v, joka muodostui muita korkeammista ostokustannuksista ja lannanlevityskustannuksista. Ruokohelpipelletin laskennallinen hinta ennustaa kuivituskustannusten vähenemistä noin kolmanneksella, mutta turpeelle kilpailukykyinen hinta jää saavuttamatta.

**Kuva 1.** Kuivituskustannukset hevosilla vertailluilla kuivikkeilla.

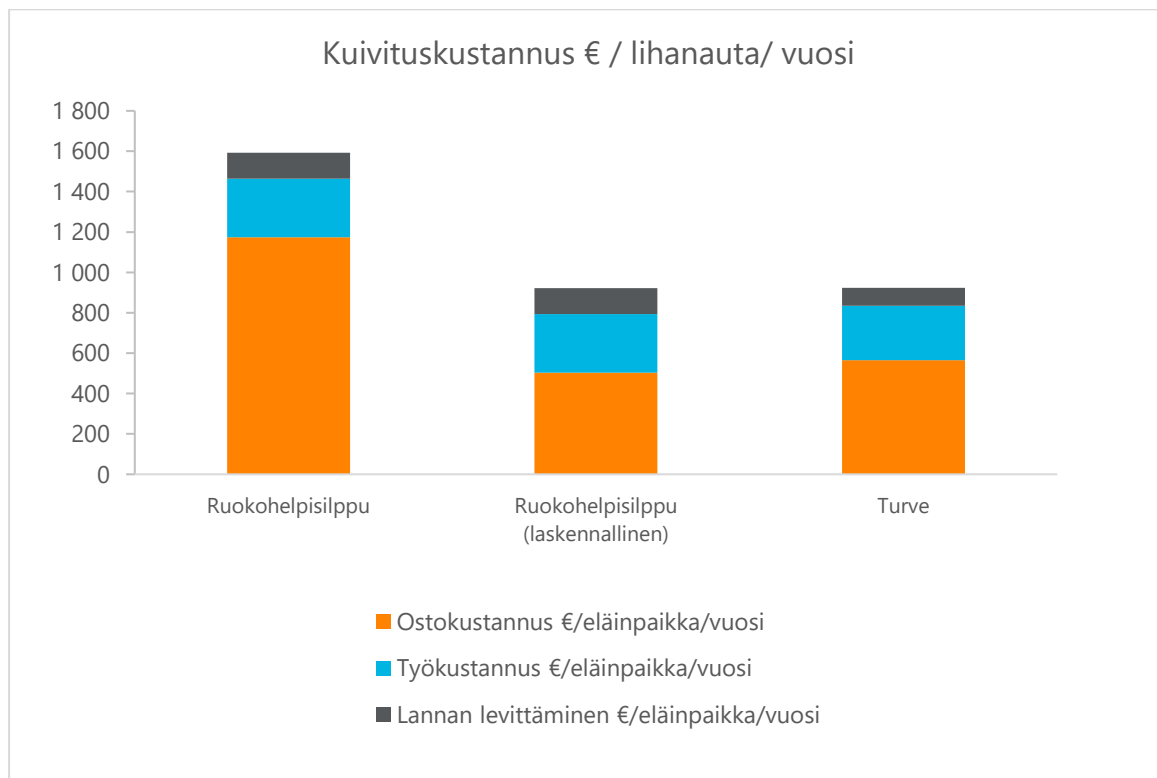
6.3.2. Lihanaudat

Lihanaudoilla ruokohelpisilpun käyttömäärä jäi noin puolet pienemmäksi kuin turpeen (Taulukko 3). Ruokohelpisilppukuivitettu kuivikelanta oli tilavuuspainoltaan pienempää, jolloin sitä syntyi määrällisesti enemmän kuin tiiviimpää turvekuivitettua kuivikelantaa.

Taulukko 3. Lihanautojen kuivituksessa käytetyt kuivikemäärät ja laskennalliset kuivikelantamäärät.

Lihanaudat	Kuivitus		Kuivikelanta	
	kg /eläinpaikka /vuosi	m ³ /eläinpaikka /vuosi	m ³ /eläinpaikka /vuosi	Tilavuuspaino, kg/m ³
Ruokohelpisilppu	3 353	23,8	40,9	238
Turve	6 788	45,2	25,4	449

Lihanaudoilla ruokohelpisilppu oli kuivituskustannuksiltaan suurempi kuin turve (Kuva 2). Vaikka suuremman kuivikelantamäärän vuoksi korkeammat lannan levityskustannukset nostivat ruokohelpisilpun kuivituksen kustannuksia, siitä huolimatta merkittävin kustannustekijä oli ostokustannus. Ruokohelpisilpun kuivituskustannus yhtä eläinpaikkaa kohti oli 1 592 €/v kun vastaava luku oli turvekuivituksella 923 €/v. Laskennallinen hinta ennusti ruokohelpisilpun ostokustannuksen laskevan alle turvekuivituksen. Suurempi kuivikelantamäärä kuitenkin pitää kokonaiskuivituskustannukset samalla tasolla turpeen kanssa. Huomioitavaa on myös, että kuivikelantamäärän kasvu lisää varastointikapasiteetin tarvetta.



Kuva 2. Kuivituskustannukset lihanaudoilla vertailluilla kuivikkeilla.

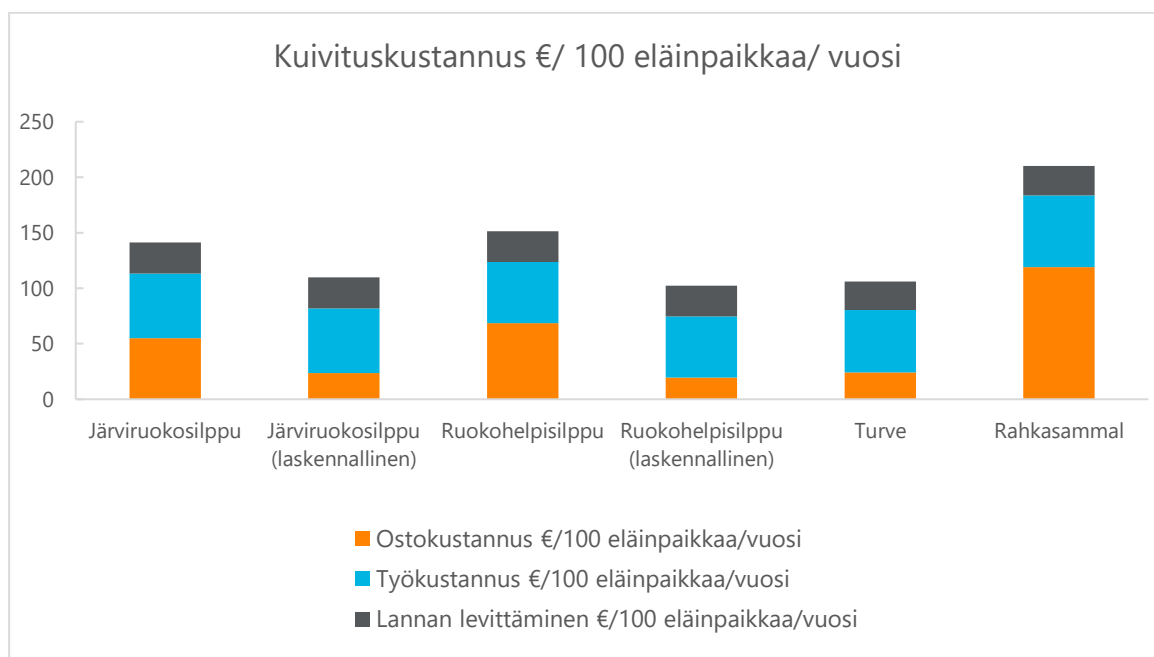
6.3.3. Broilerit

Broilereilla vertailut järviruoko- ja ruokohelpisilppu täyttivät kuivituspohjan tarpeen turvetta pienemmillä kuivitusmäärillä (Taulukko 4). Rahkasammaleen käyttömäärä oli puolestaan muita materiaaleja suurempi. Laskennalliset kuivikelannan määrät eivät poikenneet suuresti eri kuivikkeiden välillä.

Taulukko 4. Broilereiden kuivituksessa käytetyt kuivikemäärät ja laskennalliset kuivikelantamäärät.

Broilerit	Kuivitus		Kuivikelantaa	
	kg/eläinpaikka /vuosi	m ³ /eläinpaikka /vuosi	m ³ /eläinpaikka /vuosi	Tilavuuspaino, kg/m ³
Järviruokosilppu	1,58	0,016	0,104	310
Ruokohelpisilppu	1,40	0,010	0,103	311
Turve	2,92	0,019	0,096	351
Rahkasammal	4,08	0,034	0,099	355

Broilereiden kuivikkeina käytetyt järviruoko- ja ruokohelpisilppu olivat työ- ja lannanlevityskustannuksiltaan samansuuruisia kuin turvekuivike (Kuva 3). Rahkasammaleen suuremman käyttömäärän vuoksi myös työkustannukset olivat noin 15 % korkeammat kuin turpeella. Vaikka kuivikkeiden ostokustannus ei ollut broilieren kuivituskustannuksissa niin suuressa roolissa kuin hevosilla ja lihanaudoilla, oli se turpeella huomattavasti alhaisempi kuin vaihtoehtoisilla kuivikkeilla. Myös kuivituskustannus muodostui turpeella muita vertailussa olleita kuivikemateriaaleja pienemmäksi. Turpeella eläinpaikkakohtaiseksi kuivituskustannukseksi muodostui 1,06 €/v. Vastaavat kustannukset olivat järviruokosilpulla 1,40 €/v, ruokohelpisilpulla 1,50 €/v ja rahkasammaleella 2,10 €/v.



Kuva 3. Kuivituskustannukset broilereilla vertailuilla kuivikkeilla.

Laskennalliset hinnat ennustavat kuivituskustannusten pienentymistä turvekuivituksen tasolle järviruoko- ja ruokohelpisilpulla. Ruokohelven ostokustannuksen ennustetaan laskevan turvetta alhaisemmaksi, mutta vastaavasti kuivitustyön kustannus on hieman suurempi, jolloin kokonaiskustannus on samansuuruinen turpeen kanssa. Järviruokosilpun ennustetaan saavuttavan turpeen kustannustaso muuten paitsi kuivikelannan levityksen kustannuksen osalta, joka on noin 4 % suurempi.

6.4. Johtopäätökset

Tehdyt kuivikemateriaalien käyttöön liittyvät kannattavuuslaskelmat ovat vain hyvin suuntaa antavia ja karkeita arvioita, koska kustannusten laskemiseen liittyi monia tietopuutteita ja epävarmuuksia. Lisäksi nykytilanteen hintojen oletetaan muuttuvan lähiaikoina turpeen hinnan noustessa ja vaihtoehtoisten materiaalien hinnan laskiessa, kun niitä tulee enemmän tarjolle ja niihin liittyvät teknologiat ja muut toiminnot kehittyvät. Kannattavuusnäkökulmasta katsottuna vertaillut kuivikkeet eivät olleet kilpailukykyisiä turpeelle, käytettäessä turpeen hintana laskentahetken keskimääräistä markkinahintaa. Vaikka vertailtujen kuivikkeiden levittämiseen ei tarvittu niin suurta työmäärää kuin turpeelle, keskeiseksi kustannustekijäksi muodostui turvetta suuremmat ostokustannukset, jotka johtuivat korkeammista markkinahinnoista. Nykyisillä hinnoilla yksikään vertailluista kuivikkeista ei ollut kuivituskustannuksiltaan turpeelle kilpailukykyinen vaihtoehto. Toisen haasteen kannattavuusnäkökulmasta voi asettaa kuivikelannan varastointitilan turpeen kasvu. Kirjallisuuden pohjalta johdetut laskennalliset hinnat ennustivat, että ruokohelpi- ja järviruokopohjaiset kuivikkeet tulevat turvekuivitukselle kilpailukykyisiksi liha-naudoilla ja broilereilla tuotannon kehittyessä. Hevosilla kannattavuuden näkökulmasta katsottuna ei ruokohelpipelletin laskennallisella hinnallakaan päästy turpeen kuivituskustannuksiin, vaan hinta oli edelleen turvekuivitusta suurempi. Kuiviketurpeen markkinahintojen muutokset voivat osaltaan muuttaa kilpailutilannetta. Vaihtoehtoisten kuivikkeiden nykyisillä markkinahinnoilla kuiviketurpeen markkinahinnan tulisi yli kaksinkertaistua, jotta kuivituksen kokonaiskustannukset alkaisivat lähestyä toisiaan. Rajallisen tiedon vuoksi vastaavia ennusteita ei voitu toteuttaa rahkasammaleelle, joka muilta ominaisuuksiltaan osoittautui potentiaalisesti turpeen korvaajaksi broilerin kuivikkeena. Rahkasammaleen tuotannon kehittyessä se voisi mahdollisesti saavuttaa turpeelle kilpailukykyisen markkinahinnan. Vastaavaa ei tehdyn tarkastelun perusteella kuitenkaan ole odotettavissa tekstiilibriketin osalta.

6.5. Viitteet

- Alasuutari, S., Palva, R., Elstob, T., Hellstedt, M., Kivinen, T., Louhelainen, K. & Mäittälä, J. 2014. Kuivitus osaksi kannattavaa lypsykarjataloutta.
- Da Silva Viana, G., Högel, H., Manni, K. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien vertailu broilereilla. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 36–49.
- Elstob, T. & Palva, R. 2014. Hevosien lannan käsittelyn työmenetelmiä. TTS tiedote 5/2015.
- Joensuu, I., Myllyviita, T., Vilppo, T. & Huttunen, M. 2014. Järeästi järviruoko'osta pohjamutia myöten. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 46/2014.
- Lindh, T., Paappanen, T., Rinne, S., Sivonen, K. & Wihersaari, M. 2009. Reed canary grass transportation costs – Reducing costs and increasing feasible transportation distances. *Biomass and Bioenergy* 33: 209–212.

- Luostarinen, S. Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J. & Munther, J. 2017. Suomen normilanta – laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 47/2017. Luonnonvarakeskus.
- Manni, K., Saastamoinen, M. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien vertailu lihanaudoilla. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 66–81.
- Nilsson, D., Bernesson, S. & Hansson, P-A. 2011. Pellet production from agricultural raw materials—A systems study. Biomass and Bioenergy 35: 679–689.
- Pahkala, K., Isolahti, M., Partala, A., Suokannas, A., Kirkkari, A-M., Peltonen, M., Sahramaa, M., Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E. & Flyktman, M. 2005. Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. 2. korjattu painos. Maa- ja elintarviketalous 1. MTT, Jokioinen. 31 s.
- Palva, R. 2021. Konetyön kustannukset ja tilastolliset urakointihinnat. Työteho-seura.
- Saastamoinen, M., Manni, K. & Hellstedt, M. 2022a. Kuivikemateriaalien vertailu hevosilla. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 50–65.
- Saastamoinen, M., Manni, K. & Hellstedt, M. 2022b. Kuivikemateriaalien ominaisuuksien vertailu. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 11–35.

7. Kuivikemateriaalien ilmastovaikutukset

Suvi Lehtoranta¹, Annika Johansson¹, Tanja Myllyviita¹, Juha Grönroos¹ ja Katariina Manni²

¹ Suomen ympäristökeskus SYKE, Latokartanonkaari 11, 00790 Helsinki

² Luonnonvarakeskus (Luke), Tietotie 2 C, 31600 Jokioinen

Tiivistelmä

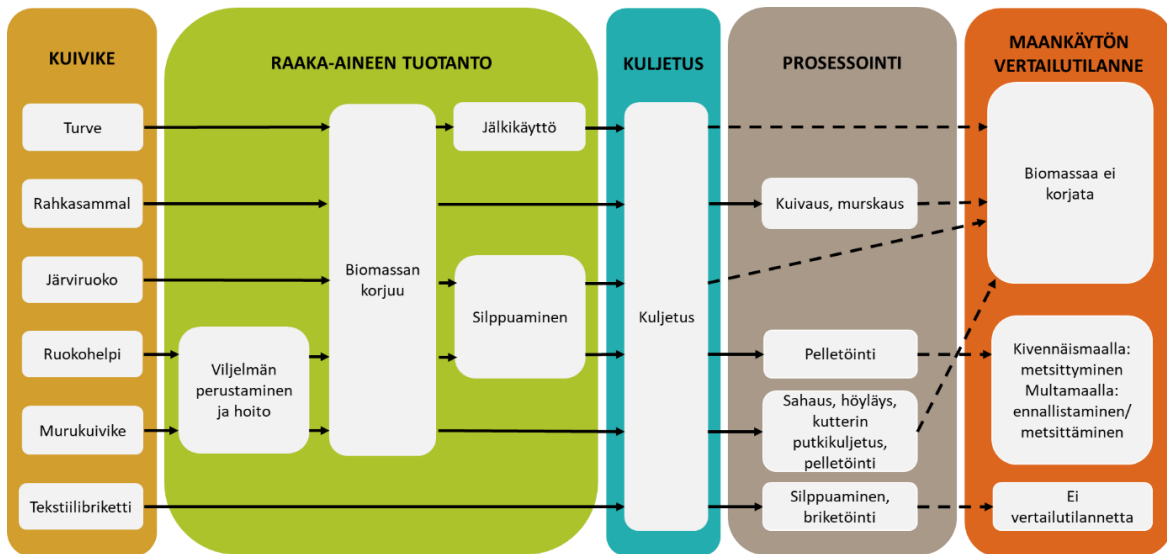
Kuiviketturpeen ja viiden sitä korvaavan materiaalin ilmastovaikutuksia tarkasteltiin ja verrattiin keskenään sekä laskettiin niiden tuotannon hiilijalanjälki. Ilmastovaikutuksia koskeva raportti julkaistiin erillisenä raporttina aiheen laajuuden vuoksi. Laskennassa käytetyt rajaukset, oletukset sekä tulosten tarkastelu on esitetty tässä koontiraportissa vain tiivistetysti ja tarkempi kuvaus on esitetty Lehtoranta ym. (2021) julkaisussa.

Asiasanat: turve, ruokohelppi, järviruoko, rahkasammal, kutteri, tekstiilibriketti, hiilijalanjälki

7.1. Ilmastovaikutusten laskennan kuvaus

Hiilijalanjäljet laskettiin samoille materiaaleille, jotka valittiin hankkeessa toteutettuihin tilakokeisiin (Da Silva Viana ym. 2022, Saastamoinen ym. 2022, Manni ym. 2022). Materiaaleiksi valikoituivat siten rahkasammal, vesistön rantavyöhykkeeltä talviniitetty järviruokosilppu, kivennäis- ja multamaalla viljelty ruokohelpisilppu ja -pelletti, puupohjainen murukuivike ja kierrätetystä puuvillatekstiilistä valmistettu briketti.

Tulosten yhtenäisen esitystavan vuoksi, kuivikkeiden tuotantoon liittyvät prosessit ryhmiteltiin elinkaarivaiheittain Kuvan 1 mukaisesti. Raaka-aineen tuotanto sisältää prosessit, jotka liittyvät biomassan tuotantoon ja korjuuseen. Näitä ovat esimerkiksi konetyö viljelyssä, kasvatusvaiheessa sekä korjuuvaiheessa ja lannoitus. Turvetuotantoalueen jälkikäytön päästöt sisällytettiin myös raaka-aineen tuotantovaiheeseen. Materiaalien ja raaka-aineiden kuljetus sekä prosessointi eriytettiin omiksi elinkaarivaiheiksi. Koska maata tarvitaan kuivikemateriaalien tuotantoon, sisällytettiin maankäyttö omana elinkaarivaiheenaan hiilijalanjälkilaskentaan. Maankäyttö kattaa biomassan korjuun sekä kuivikkeen hajoamisen vaikutukset hiilitaseeseen. Kuvassa 1 on havainnollistettu, mitä maankäytön vertailutilannetta kullekin kuivikemateriaalille käytettiin.



Kuva 1. Yhteenvetokuva laskennassa huomioiduista kuivikekohtaisista tuotantoprosesseista elinkaarivaiheittain ja maankäytön vertailutilanne (Lehtoranta ym. 2021).

Tarkasteltujen kuivikemateriaalien tuotanto on vasta kehitysvaiheessa ja raaka-aineen alkuperä, prosessointi sekä kuljetusmatkat voivat vaihdella huomattavasti. Lisäksi saatavilla oleva tutkimustieto on osin ristiriitaista ja vaikeasti yleistettävissä. Näin ollen hiilijalanjälki laskettiin usealle vaihtoehdoiselle tuotantotavalle erilaisia laskentaoletuksia käyttäen. Laskennassa määritettiin jokaiselle tarkasteltavalle materiaalille perusoletus, joka pyrkii kuvaamaan tyypillistä tapaa tuottaa kyseistä raaka-ainetta.

Kuiviketurpeen tuotannon hiilijalanjälki laskettiin metsäojitetulta suolta nostettuna. Perustilanteeksi määritettiin tuotanto, jonka jälkikäyttötapa on metsitys. Lisäksi tarkasteltiin ennallistamisen vaikutuksia tuloksiin.

Rahkasammalkuivikkeen tuotantoa arviointiin puolestaan kolmelta eri suotyypiltä korjattuna (metsäojitettu suo, rahkaräme, lyhytkorsikalvakkaneva). Perustilanteeksi määritettiin metsäojitetulta suolta korjaaminen 30 cm syvyydestä, 30 vuoden korjuusykliä. Lisäksi tarkasteltiin matalampaa korjuusyvyyttä (20 cm) sekä 15 vuoden korjuusykliä kaikilla kolmella suotyypillä.

Järviruon hiilijalanjälki laskettiin rantavyöhykkeeltä talviniitetylle ruokomassalle. Perustilanteeksi määritettiin tilanne, jossa järviruon niitto ei vaikuta ruovikon palautumiskykyyn. Lisäksi tarkasteltiin tilannetta, jossa kasvu heikentyy tai lisääntyy 10 %.

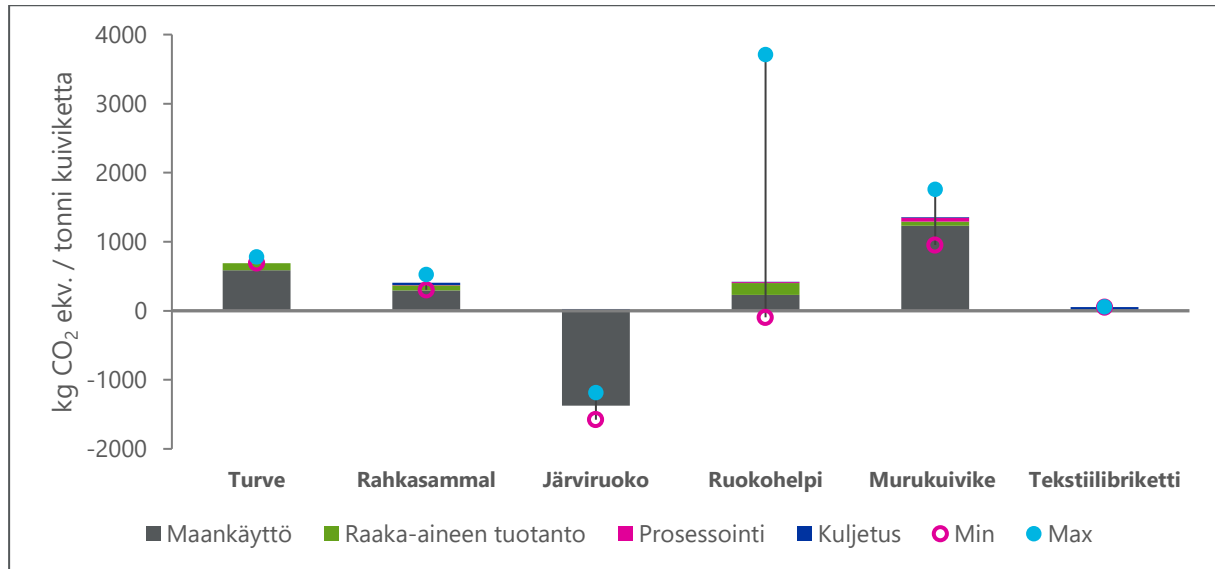
Hiilijalanjälkilaskennassa ruokohelpisilpun tuotantoa arviointiin erikseen sekä kivennäismaalla että multamaalla viljeltynä. Kivennäismaalla viljely (4 % orgaanisen aineksen pitoisuus, juuriston osuus biomassasta 50 %) määritettiin ruokohelpen tuotannon perustilanteeksi. Lisäksi tarkasteltiin orgaanisen aineksen pitoisuuden (4–40 %) ja juuriston osuuden (50–70 %) vaikutuksia tulokseen.

Murukuivikkeen tuotanto laskettiin päätehakatun puun sahateollisuuden sivuvirtana syntyvästä kutterinlastusta prosessoidulle pelletille. Sahateollisuuden sivuvirtana muodostuvalle kutterinlastulle allokoitiin ilmastovaikutuksista massa-allokointiin perustuen 10,6 %. Kutterinlastun prosessointi murukuivikkeeksi jyvitetiin yksin murukuivikkeelle.

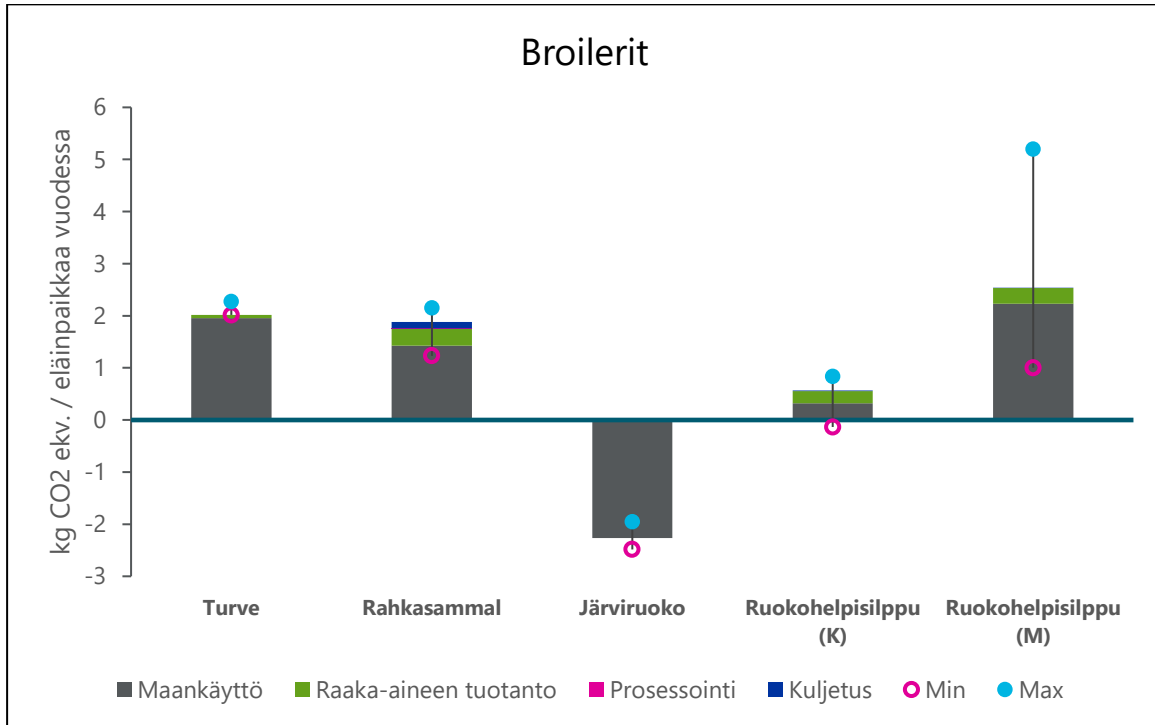
Tekstiilibriketin tuotantoa arvioitiin erilliskerätylle puuvillapohjaiselle tekstiilijätteelle. Laskennassa käytettiin jätettä koskevissa elinkaariarvioinneissa yleisesti käytettyä cut-off mallia, jossa tekstiilibriketin tuotantoketju alkoi tekstiilin kuljetuksesta lajittelupisteeseen. Näin ollen tekstiilijätteelle ei allokoitu sen tuotannon ja käytön aikaisia ilmastovaikutuksia eikä vältettyjä päästöjä.

7.2. Tulokset

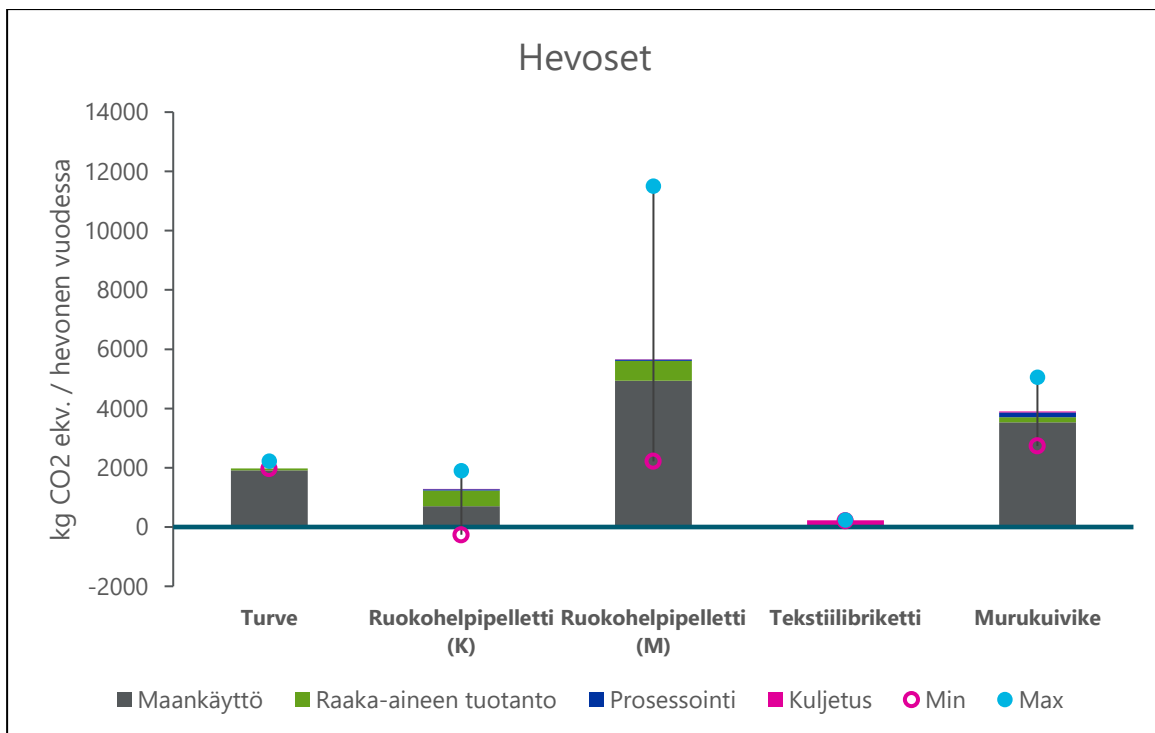
Tutkimuksen tulokset osoittavat, että lähes kaikkien tutkittujen materiaalien hiilijalanjälki oli turvetta pienempi, mutta huomattavaa vaihtelua esiintyi materiaalien tuotantotavasta ja käytetyistä laskentaoletuksista riippuen (Kuva 2). Tilakokeissa määritettyjen kuivikkeiden käyttömäärissä esiintyvä vaihtelu ei muuttanut kuivikkeiden hiilijalanjälkien välisiä suhteita merkittävästi (Kuvat 2–5). Tuloksissa esitetty vaihteluväli (Kuvat 2–5) ei kuvaa esitetyn tuloksen luotettavuutta, vaan vaihtoehtoisten tarkastelujen hiilijalanjäljen vaihteluväliä.



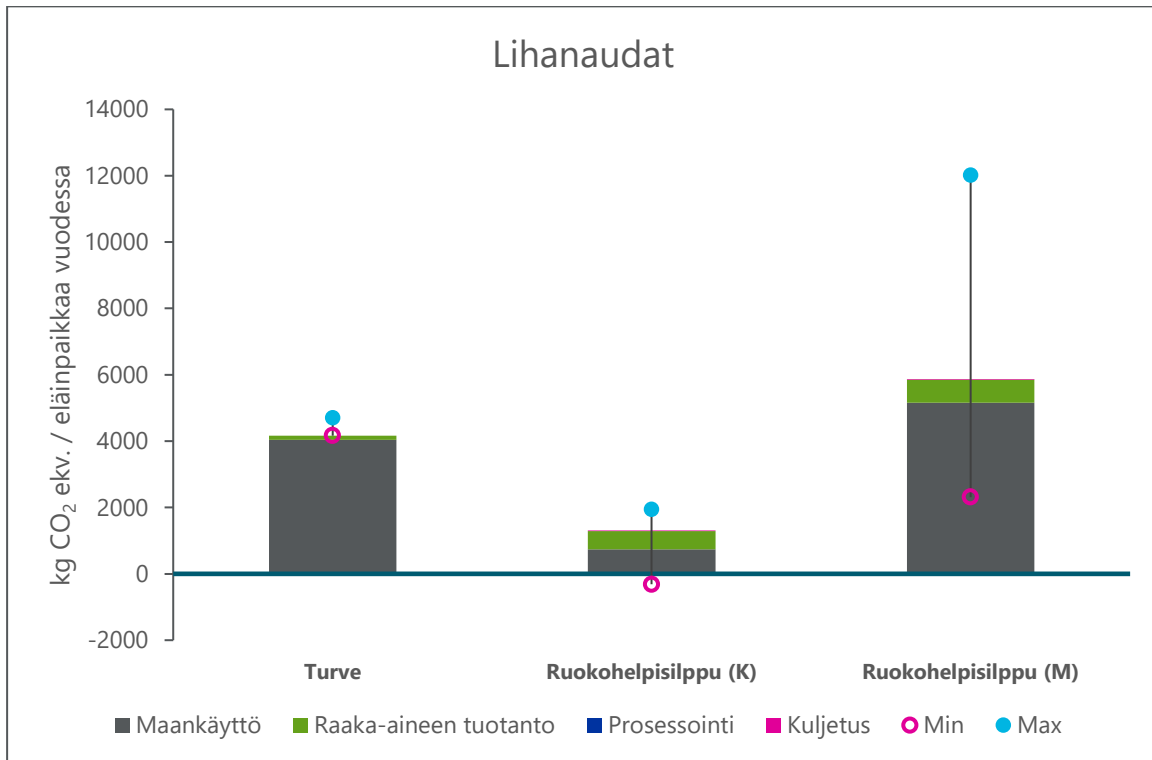
Kuva 2. Kuivikemateriaalien hiilijalanjälki (kg CO₂ ekv./tonni kuiviketta). Maankäyttö, raaka-aineen tuotanto, prosessointi ja kuljetus ovat perusoletuksella tehdyn laskennan tuloksia. Ruokohelven tapauksessa perusoletuksena on tässä kuvassa käytetty maankäytön osalta kivennäismaalla viljeltyä ruokohelpipellettiä. Vaihteluväli kuvaa laskennassa materiaaleille tehtyjen vaihtoehtoisten tarkastelujen tulosten vaihteluväliä. (Lehtoranta ym. 2021)



Kuva 3. Broilereilla testattujen kuivikkeiden hiilijalanjälki kg CO₂ ekv. vuosittaista eläinpaikkaa kohden laskettuna. Ruokohelpisilppu (K) on kivennäismaalla viljelty ruokohelpi ja ruokohelpisilppu (M) on multamaalla viljelty. Vaihteluväli kuvaa laskennassa materiaaleille tehtyjen vaihtoehtoisten tarkastelujen tulosten vaihteluväliä. (Lehtoranta ym. 2021)



Kuva 4. Hevosilla testattujen kuivikkeiden hiilijalanjälki kg CO₂ ekv. vuosittaista eläinpaikkaa kohden laskettuna. Ruokohelpisilppu (K) on kivennäismaalla viljelty ruokohelpi ja ruokohelpisilppu (M) on multamaalla viljelty. Vaihteluväli kuvaa laskennassa materiaaleille tehtyjen vaihtoehtoisten tarkastelujen tulosten vaihteluväliä. (Lehtoranta ym. 2021)



Kuva 5. Lihanaudoilla testattujen kuivikkeiden hiilijalanjälki kg CO₂ ekv. vuosittaista eläinpaikkaa kohden laskettuna. Ruokohelpipelletti (K) on kivennäismaalla viljelty ruokohelpi ja ruokohelpipelletti (M) on multamaalla viljelty. Vaihteluväli kuvaa laskennassa materiaaleille tehtyjen vaihtoehtoisten tarkastelujen tulosten vaihteluväliä. (Lehtoranta ym. 2021)

Tutkituista kuivikemateriaaleista järviruokosilpulla oli negatiivinen hiilijalanjälki, eli sen käytöllä voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Järviruokosilpun negatiivisesta hiilijalanjäljestä valtaosa aiheutuu ruovikon niiton seurauksena vältetyistä metaanipäästöistä. Myös tekstiilibriketin hiilijalanjälki oli turvetta huomattavasti pienempi. Koska tekstiilibriketin raaka-aineena on jättemateriaali, ei sille kohdistu maankäytön päästöjä. Tekstiilibriketin hiilijalanjälki koostuu pääsääntöisesti erilliskerätyn tekstiilijätteen kuljetuksesta käsittelylaitokselle.

Rahkasammalkuivikkeen hiilijalanjälki oli noin puolet turpeen hiilijalanjäljestä. Rahkasammaleen hiilijalanjälki riippuu kuitenkin useasta samanaikaisesta tekijästä (suotyyppi, korjuusyvyyssyys- ja -sykli), jotka voivat toisaalta pienentää tai kasvattaa hiilijalanjälkeä riippuen hiilidioksidin ja metaanipäästöjen dynamiikasta.

Puupohjaisen murukuivikkeen hiilijalanjälki oli sen sijaan turvetta suurempi valitulla lähestymistavalla tarkasteltuna. Kun kuivikkeiden raaka-aineena käytetään sivutuotteita, voidaan hiilijalanjälkilaskennassa allokoita sivutuotteen ja ns. päätuotteen tuotannossa muodostuvia päästöjä eri menetelmin. Allokointimenetelmän valinnalla on keskeinen vaikutus tuloksiin ja niiden tulkintaan. Tässä tutkimuksessa lähestymistavaksi valittiin massa-allokointi, koska hiilijalanjälkilaskennan tarkoituksena oli pyrkiä kuvaamaan hiilitaseiden muutoksia ympäristössä, joita kuivikkeen tuotanto ja käyttö aiheuttavat. Taloudellista allokointia käyttäen murukuivikkeen hiilijalanjälki on sen sijaan turvetta huomattavasti pienempi. Mikäli murukuivikkeen tuotannossa voitaisiin hyödyntää väliharvennettua puuta päätehatun puun sijaan, pienenisivät maankäytön ilmastovaikutukset murukuiviketonna kohden noin 20 %.

Ruokohelven hiilijalanjälki vaihteli merkittävästi riippuen mm. pellon maalajista, satotasosta ja juurimassan osuudesta. Kivennäismaalla tuotettu ruokohelpi oli tutkimuksen mukaan

hiilijalanjäljeltään sekä turvetta että multamaalla tuotettua ruokohelpeä pienempi. Tämä johtuu siitä, että multamaalla hiiltä haihtuu orgaanisen aineksen hajotessa kivennäismaata huomattavasti suurempi määrä, eikä ruokohelven viljely välttämättä riitä kompensoimaan multamaiden luontaista hiilikatoa.

7.3. Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Kun tarkastellaan kuivikemateriaalien eri elinkaaren vaiheita, voidaan todeta, että maankäytön päästöt (biomassan korjuun ja uusiutumisen vaikutus maaperän hiilivarastoon ja maaperäpäästöihin) aiheuttavat suurimman osan hiilijalanjäljestä kaikissa vaihtoehdoissa (Kuva 2). Poikkeuksena tästä on tekstiilibriketti, jolla ei tässä tutkimuksessa oletettu olevan maankäytön vaikutuksia, koska materiaali luokitellaan nykyisin jätteeksi. Materiaaleilla, joilla maankäytön vertailutilanteen (palautuminen kohti luonnontilaa/ luonnontila) hiilensidonta on suuri, allokoituu tässä lähestymistavassa enemmän ilmastovaikutuksia kuin niille materiaaleille, joilla ei vertailutilanteessa ole merkittävää hiilensidontaa. Tästä syystä esimerkiksi murukuivikkeen hiilijalanjälki on suurempi kuin muiden tässä tutkimuksessa tarkasteltavien kuivikemateriaalien.

Maankäytön ympäristövaikutukset usein aliarvioidaan tai jätetään huomioimatta elinkaariarvioinnissa (Soimakallio ym. 2015). Tässä tutkimuksessa maankäytön vaikutukset sisällytettiin tarkasteluun, vaikka niihin todettiin kohdistuvan merkittäviä epävarmuuksia tietopuutteista ja lähtöaineiston saatavuudesta johtuen. Jotta maankäytön päästöt voidaan arvioida, tulee määrittää vertailutilanne, joka kuvaa maankäytöstä aiheutuvia päästöjä ilman kuivikkeen tuotantoa. Vertailutilanteen päästöt vähennetään kuivikkeen tuotannosta aiheutuvista päästöistä, jotta päästään voidaan selvittää, mikä kuivikkeen tuotannon maankäytön vaikutus on. Tässä tutkimuksessa maankäytön vertailutilanteeksi määritettiin kaikille materiaaleille tilanne, jossa biomassaa ei korjata. Kun käytetään biomassaa, joka tuotetaan jo ihmisen muokkaamalla maa-alalla, oletettiin, että ihmisen toiminta poistuu ja maa-ala palautuu kohti luonnontilaa. Näin materiaaleille laskettavat hiilijalanjäljet olivat keskenään vertailukelpoisia. On tärkeää huomata, että maankäytön vertailutilanteen hiilen sidonta ja maaperän päästöt sekä niiden muutokset biomassan korjuun jälkeen vaikuttavat keskeisesti maankäytöstä aiheutuvaan hiilijalanjälkeen, mutta niihin kohdistuu huomattavia epävarmuuksia.

Raaka-aineiden prosessoinnilla yhdessä kuljetusten kanssa on pienin vaikutus kuivikkeiden hiilijalanjälkeen. Näin ollen erityisesti kierrätysmateriaalien sekä erilaisten sivutuotteiden jalostaminen kuivikekäyttöön voisi olla ilmastovaikutusten kannalta kannattavaa. Jalostamisella voidaan myös parantaa materiaalien soveltuvuutta kuivikkeeksi sekä varmistaa niiden hygieenisuus ja turvallisuus.

Kuivikemateriaalien ominaisuudet vaikuttavat käyttömäärien lisäksi myös esimerkiksi typen haihtumiseen ammoniakkinä ja nesteepidätyskykyyn. Myös lannasta muodostuvat metaanipäästöt voivat vaihdella kuivikelajin mukaan. Näitä ei laskennassa huomioitu. Jatkossa vaihtoehtoisten kuivikemateriaalien ilmastovaikutuksia arvioitaessa tulee huomioida koko tuotteen tuotannon, käytön ja jälkikäytön elinkaari. Tässä tutkimuksessa keskityttiin vain raaka-aineiden tuotantoon, sillä käyttövaiheesta ei ollut soveltuvaa tutkimustietoa saatavilla.

Tuloksia tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon lähtöaineistona käytetyn tutkimustiedon rajallisuus sekä aineistoon liittyvät huomattavat epävarmuudet, etenkin maankäytön päästöjä arvioitaessa. Käytännössä hiilijalanjälki vaihtelee enemmän, kuin tämän tutkimuksen tulokset osoittavat. Esitettyjä tuloksia voidaan siten pitää suuntaa antavina, ja ne pätevät tässä tutkimuksessa käytetyille laskentaoletuksille.

Uusien kuivikemateriaalien tuotanto aiheuttaa muutoksia raaka-aineiden hyödyntämisessä sekä vaikuttaa siten myös vallitseviin tuotantorakenteisiin. Jos esimerkiksi puupohjaisten kuivikkeiden käyttö ja kysyntä lisääntyy, tulisi ilmastovaikutusten arvioinnissa huomioida myös sen seurausvaikutukset muuhun puun käyttöön. Näitä tuotannon muutosten vaikutuksia ei tässä tutkimuksessa arvioitu menetelmävalinnasta johtuen. Jatkotutkimuksissa tulisi arvioida ilmastovaikutuksia laajemmin ja ottaa huomioon ne seurausvaikutukset, mitä korvaavan materiaalin tuottaminen ympäristölle aiheuttaa.

7.4. Viitteet

- Da Silva Viana, G., Högel, H., Manni, K. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien vertailu broilereilla. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 36–49.
- Lehtoranta, S., Johansson, A., Myllyviita, T., Grönroos, J. & Manni, K. 2021. Turvetta korvaavien kuivikemateriaalien ilmastovaikutukset. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 51/2021. 80 s.
- Manni, K., Saastamoinen, M. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien vertailu lihanaudoilla. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 66–81.
- Saastamoinen, M., Manni, K. & Hellstedt, M. 2022. Kuivikemateriaalien vertailu hevosilla. Julkaisussa: Manni, K. (toim.). Turvetta korvaavat uusiutuvat kuivikemateriaalit. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 9/2022. Luonnonvarakeskus. Helsinki. s. 50–65.
- Soimakallio, S., Cowie, A., Brandao, M., Finnveden, G., Ekvall, T., Erlandsson, M., Koponen, K. & Karlsson, P.-E. 2015. Attributional life cycle assessment: is a land-use baseline necessary? *The International Journal of Life Cycle Assessment* 20: 1364–1375. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11367-015-0947-y>

Liitteet

Liite 1. Kooste muutamista keskeisistä kuivikemateriaalien ominaisuuksista, jotka perustuvat Turvekehankkeessa tehtyihin mittauksiin.

	Broilerit				Hevoset				Lihanaudat	
	Järviruoko-silppu	Ruokohelpi-silppu	Rahkasammal	Turve	Murukuivike (kutteri)	Ruokohelpi-pelletti	Tekstiili-briketti	Turve	Ruokohelpi-silppu	Turve
Kuivikemateriaalien vertailu laboratoriomittakavassa										
Kuiva-aine, %	85	83	20 ¹⁾	59	90	90	96 ¹⁾	59	83	59
pH	5,05	5,65	4,8 ¹⁾	3,98	5,56	5,48	7 ¹⁾	3,98	5,65	3,98
Vedenpidätyskyky, kg/kg materiaalia	2,8	4,3	tp ²⁾	3,6	2,5	2,5	tp ²⁾	3,6	4,3	3,6
Ammoniakin vapautuminen 10 vrk:n aikana, ppm ³⁾	189	163	tp ²⁾	163	179	141	tp ²⁾	163	163	163
Kuivikekäyttö										
Kuivikkeen kulutus, m ³ /eläinpaikka/vuosi	0,016	0,010	0,034	0,019	5,3	5,0	16,1	18,4	23,8	45,2
Soveltuu kuivikkeeksi yksinomaan materiaalina	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Huonosti	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kuivikelannan lannoitusvaikutus										
Kuivikelannan kokonaistypen satovaikutus, % ⁵⁾	68	64	66	62	2	2	-11	4	49	45
Kokonaistypen hyväksikäyttö, %	23	23	25	23	-7	-10	-29	16	12	16
Hiili/typpi -suhde	7,3	8,8	9,2	9,4	48,1	29,1	54,6	28,6	17,0	20,8
Koeasetelman mukainen kuivituskustannus										
€/eläinpaikka/vuodessa	1,4	1,5	2,1	1,1	1190	1141	3300	616	1592	924
Ilmastovaikutus										
kg CO ₂ ekv./eläinpaikka/vuodessa ⁶⁾	-2,5–(-2,0)	-0,1–0,8/ 1–5,2 ⁷⁾	1,2–2,2	2,0–2,3	2734–5056	-260–1897/ 2216–11508 ⁷⁾	213–241	1973–2228	-313–1940/ 2315–12022 ⁷⁾	4168–4708

¹⁾ Määritetty käytännön olosuhteissa tehdyn kuivikevertailun yhteydessä.

²⁾ Tieto puuttuu.

³⁾ Määritetty kuivikemateriaalin ja naudan lietalannan seoksesta laboratorio-olosuhteissa.

⁴⁾ Kuivikepohjien perustaminen ja tyhjennys oletettiin tehtävän hevosilla 6 krt/v, lihanaudoilla 2 krt/v ja broilereilla 7 krt/v.

⁵⁾ Satovaikutus verrattuna vastaavan mineraalityypilannoituksen tuottamaan sadon lisäykseen.

⁶⁾ Hiilijalanjäljen vaihteluväli kuvaa tarkasteltujen tuotantotapojen aiheuttamaa vaihtelua.

⁷⁾ Kivennäismaa/Multamaa.



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000