



Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 57/2024

# Rehuaeineiden kivennäispitoisuus ja fosforin sulavuus sioilla ja siipikarjalla (Fosikana)

Makera-hankkeen (VN/7807/2020) loppuraportti

Sini Perttilä, Tapio Salo, Heidi Högel, Gabriel Da Silva Viana, Letícia Soares,  
Helena Soinne, Tomasz Stefanski, Kaisa Kuoppala, Janne Kaseva ja  
Marketta Rinne

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 57/2024

# **Rehuaineiden kivennäispitoisuus ja fosforin sulavuus sioilla ja siipikarjalla (Fosikana)**

Makera-hankkeen (VN/7807/2020) loppuraportti

**Sini Perttilä, Tapio Salo, Heidi Högel, Gabriel Da Silva Viana, Letícia Soares,  
Helena Soinne, Tomasz Stefanski, Kaisa Kuoppala, Janne Kaseva ja  
Marketta Rinne**



**Viittausohje:**

Perttilä, S., Salo, T., Högel, H., Da Silva Viana, G., Soares, L., Soinne, H., Stefanski, T., Kuoppala, K., Kaseva, J. ja Rinne, M. 2024. Rehuaineiden kivennäispitoisuus ja fosforin sulavuus sioilla ja siipikarjalla : Fosikana-Makera-hankkeen (VN/7807/2020) loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 57/2024. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 53 s.



ISBN 978-952-380-937-6 (Verkkójulkaisu)

ISSN 2342-7639 (Verkkójulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-937-6>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Sini Perttilä, Tapio Salo, Heidi Högel, Gabriel Da Silva Viana, Letícia Soares, Helena Soinne, Tomasz Stefanski, Kaisa Kuoppala, Janne Kaseva ja Marketta Rinne

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2024

Julkaisu vuosi: 2024

Kannen kuva: Tapio Tuomela Luke

## Alkusanat

Hanke vastasi vuoden 2021 Maatilatalouden kehittämisrahaston (Makera) haun painopisteseen ”Kotieläintuotannon mahdollisuudet ja haasteet” ja sai rahoitusta Maa- ja metsätalousministeriön maatilatalouden kehittämisrahastosta. Hanke tarkasteli elinkeinon yhteistä tietotarvetta liittyen ympäristövaatimuksiin ja sitä kautta kuluttajien valintoihin ja tuotannon kannattavuuteen. Hankkeen yhtenä tavoitteena oli edistää älykästä ja kestävää resurssien käyttöä sika- ja siipikarjatuotantoketjussa samalla tuotannon ympäristövaikutuksia vähentäen. Uudistuva ja kestävä luonnonvaratalous tarvitsee tuekseen tutkittua ajantasaista, avointa, luotettavaa ja käyttökelpoista tietoa. Kotieläintuotannon ympäristövaikutusten arvioiminen ja vaikutukset huomioiva vastuullisuus ei ole mahdollista ilman ajantasaista tietoa. Hankkeessa syntyneet tulokset ovat helposti hyödynnettävissä, ja ne parantavat suomalaisen kotieläintuotantoketjun kannattavuutta ja kilpailukykyä rehujen suunnittelun tarkentuessa ja ympäristövaikutusten vähentyessä. Lannan fosforin määrä ja käyttökelpoisuus kasveille vaikuttavat suoraan sadonmuodostukseen ja fosforin huuhtoutumisriskiin ja hankkeesta saatu lisätieto auttaa suunnittelemaan myös kestävä kehityksen mukaista kasvintuotantoa ja lannan käyttöä.

Hankkeessa kerättiin tietoa sika- ja siipikarjan yleisimpien rehuaineiden kivennäis- ja hivenainepitoisuuksista, sekä selvitettiin yleisempien rehuaineiden fosforin sulavuus sioille ja siipikarjalle. Tavoitteena oli myös saada lisää tietoa erilaisten rehuaineiden vaikutuksesta sotaan erittyvän fosforin ominaisuuksiin ja arvioida muodostuvan lannan fosforin ympäristövaikutusta ja käyttökelpoisuutta kasveille. Myönnetty rahoitus oli haettua pienempi, minkä vuoksi tätä osuutta jouduttiin karsimaan. Saatu päivitetty tieto yleisimpien rehuainekasvien fosforipitoisuuksista mahdollistaa tarkemman ruokinnasuunnittelun. Kun rehujen suunnittelussa huomioidaan rehuaineiden kivennäis- ja hivenainepitoisuus sekä sulavuus ja pyritään täyttämään vain eläimen tarve, lantaan erittyvä kivennäis- ja hivenainemäärä vähenee.

Hankkeen päätavoitteena oli päivittää sikojen ja siipikarjan ruokinnassa eniten käytettyjen rehuaineiden kivennäisten pitoisuudet ja sulavuuskertoimet Luken ylläpitämään Rehutaulukot-verkkopalveluun ([www.luke.fi/rehutaulukot](http://www.luke.fi/rehutaulukot)). Lisäksi tavoitteena oli tuottaa tietoa ruokinnan vaikutuksesta lannan fosforin määrään ja laatuun.

Ensimmäisenä osatavoitteena (TP1) oli selvittää sikojen ja siipikarjan ruokinnassa keskeisenä olevien rehuaineiden kivennäis- ja hivenainepitoisuudet sekä niiden vaihtelu.

Toisena osatavoitteena (TP2) oli määrittää sulavuuskokein edellisessä työpaketissa (TP1) käytettyjen ja hankkeeseen osallistuvien sidosryhmien kanssa yhdessä valittujen rehuaineiden fosforin käyttökelpoisuus sioille ja siipikarjalle.

Kolmantena osatavoitteena (TP3) oli määrittää edellisessä työpaketeissa (TP2) testattujen rehujen vaikutusta eläimiltä kerättyjen sotaanäytteiden fosforin määrään ja sen ominaisuuksiin. Tulosten perusteella tarkasteltiin eri rehuaineiden käytön vaikutuksia lannan lannoitusarvoon sekä vaikutuksia fosforin huuhtoutumisriskiin. Tämä työpaketti pystyttiin rahoituksen puuttessa toteuttamaan osittain.

Neljäntenä osatavoitteena (TP4) oli hankkeessa saadun uuden tiedon saattaminen kaikkien tarvitsevien ulottuville.

Tämä hanke sai alkunsa sidosryhmien kanssa keskusteltaessa ja Lukella työn alla olevan erityislaskennan uudistuksen yhteydessä esiin tuodusta tarpeesta Rehutaulukoiden rehuainekasvien

kivennäisaineiden pitoisuuksien ja käyttökelpoisuustietojen päivittämiselle. Luke ylläpitää Rehutaulukot-verkkopalvelua ([www.luke.fi/rehutaulukot](http://www.luke.fi/rehutaulukot)) osana sille osoitettuja viranomaistehtäviä (Rehulaki 1263/2020). Rehutaulukot sisältävät tyypillisten rehuaineiden kivennäispitoisuuksia ja fosforin sulavuuden, joita voidaan perustelluista esityksistä päivittää. Erityslaskenta on myös Luken viranomaistehtävä osana lukuisia virallisia ravinne- ja päästölaskentoja. Laskennan uudistuksessa (Narutesti, MMM 2018–2019; muut eläimet, Luke 2018–2020) nousi esiin tarve rehutietojen ja sulavuuksien päivittämiselle.

Hankkeen toteutuksesta vastasi Luonnonvarakeskuksen monialainen tutkijaryhmä yhdessä rehu- ja lannoitealan toimijoiden sekä lihanjalostuslaitosten kanssa. Hankkeen vastuullisena toteuttajana ja hallinnoijana toimi Luke. Näytteiden keruussa, aiempien analyysien tietojen saannissa ja testattavien rehujen hankkimisessa avustivat A-Rehu Oy, Boreal Kasvinjalostus Oy, Hankkija Oy ja Yara Oy sekä Luken tutkijakollegat. Hanke toteutettiin elinkeinon toiveesta ja sen tarpeisiin vastaten ja suunniteltiin ja tehtiin tiiviissä yhteistyössä elinkeinon kanssa. Elinkeino oli hankkeen jokaisessa työpaketissa mukana ja vahvasti edustettuna myös hankkeen ohjausryhmässä. Hankkeen ohjausryhmässä olivat puheenjohtajana Eeva Saarisalo (MMM), edustajina sidosryhmistä Kimmo Kytölä ja Anne Rauhala (A-Rehu), Anne Kerminen ja Anna-Kaisa Salovaara (Yara), Ari Berg (Suomen Sikayrittäjät ry), Hanna Hamina ja Veera Lehtilä (Suomen Siipikarjaliitto ry) ja Mari Lukkariniemi (MTK). Ohjausryhmän kokousten lisäksi, ohjausryhmän jäsenten, elinkeinon edustajien ja tutkijoiden kesken pidettiin hankkeen aikana suunnittelupalavereita, jotta elinkeinon näkemys saatiin hankkeen toteutukseen mukaan. Lämmin kiitos kaikille hankkeen eri osa-alueissa avustaneille ja hankkeen toteutukseen osallistuneille tahoille!

Hankkeesta on julkaistu 2 lehtijuttua ja hanketta esiteltiin Maataloustieteen Päivillä 2024 (Högel ym., 2024, Perttilä ym., 2024). Hankkeesta löytyy lisätietoa Luken internet-sivuilta: <https://www.luke.fi/fi/projektit/fosikana>. Lisäksi hankkeesta kirjoitetaan tieteellisiä artikkeleita.

#### Viitteet:

Högel, H., Da Silva Viana, G., Kuoppala, K., Perttilä, S., Rodehutschord, M., Salo, T., Soares, L. & Soinne, H. 2024. Vehnän, kauran, kuoritun kauran, herneen ja härkäpavun fosforin sulavuus broilereilla. Maataloustieteen Päivät 2024. Saatavilla: [https://www.smts.fi/sites/smts.fi/files/Abstraktikirja%202024\\_Book%20of%20abstracts.pdf](https://www.smts.fi/sites/smts.fi/files/Abstraktikirja%202024_Book%20of%20abstracts.pdf). p. 32.

Perttilä, S., Da Silva Viana, G., Högel, H., Kuoppala, K., Rinne, M., Rodehutschord, M., Salo, T., Soares, L. & Soinne, H. 2024. Ohran, vehnän, kauran, herneen, härkäpavun ja ohravalkuaisrehun näennäinen ja standardoitu fosforin sulavuus sioille. Maataloustieteen Päivät 2024. Saatavilla: [https://www.smts.fi/sites/smts.fi/files/Abstraktikirja%202024\\_Book%20of%20abstracts.pdf](https://www.smts.fi/sites/smts.fi/files/Abstraktikirja%202024_Book%20of%20abstracts.pdf). p. 31.

## Tiivistelmä

Sini Perttilä<sup>1</sup>, Tapio Salo<sup>2</sup>, Heidi Högel<sup>2</sup>, Gabriel Da Silva Viana<sup>2</sup>, Letícia Soares<sup>2</sup>, Helena Soinne<sup>1</sup>, Tomasz Stefanski<sup>2</sup>, Kaisa Kuoppala<sup>2</sup>, Janne Kaseva<sup>2</sup> ja Marketta Rinne<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Luonnonvarakeskus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki

<sup>2</sup> Luonnonvarakeskus, Tietotie 4, 31600 Jokioinen

Hankkeen päätavoitteena oli päivittää sikojen ja siipikarjan ruokinnassa eniten käytettyjen rehuaineiden kivennäisten pitoisuudet ja sulavuuskertoimet Luken ylläpitämään Rehutaulukot-verkkopalveluun sekä saada lisää tietoa erilaisten rehuaineiden vaikutuksesta sontaan erittyvän fosforin ominaisuuksiin. Hankkeen vastuullisena toteuttajana ja hallinnoijana toimi Luke. Näytteiden keruussa ja aiempien analyysien tietojen saannissa avustivat A-Rehu Oy ja Yara Oy. Hanke toteutettiin elinkeinon toiveesta ja sen tarpeisiin vastaten ja suunniteltiin sekä tehtiin tiiviissä yhteistyössä yhdessä elinkeinon kanssa.

Aikaisempien tulosten ja muiden hankkeiden näytteiden analysoinnin avulla kerättiin kaurasta ja kevätvehnästä kummastakin yli 600 fosforipitoisuutta ja ohrasta yli 800. Muiden kivennäisten pitoisuustuloksia oli käytettävissä noin puolet fosforipitoisuustuloksista. Herneen kivennäispitoisuuksia määritettiin 25 ja härkävavun 35. Kevätviljojen vuosien 2016–2020 fosforipitoisuudet olivat samalla tasolla tai hieman korkeampia kuin Rehutaulukon arvot, esimerkiksi ohralla keskimäärin 6,1 vs. rehutaulukon 5 ja kauralla 4,1 vs. rehutaulukon 3,5. Kevätviljojen fosforipitoisuuksien muutosta ei noin kahdenkymmenen vuoden tarkastelujakson aikana ollut havaittavissa, mutta vuosien väliset erot olivat suurehkoja. Kevätviljojen muiden kivennäisten osalta Rehutaulukon arvot vastasivat määritettyjä pitoisuuksia. Herneen fosforipitoisuudet olivat näytteissä hieman alemmat kuin Rehutaulukon arvo. Härkävavun osalta Rehutaulukon fosforipitoisuus vastasi melko hyvin näytteiden keskiarvoa. Palkokasvien määritetyissä kivennäispitoisuuksissa suurin ero oli herneen kaliumpitoisuuksissa, jotka olivat näytteissä keskimäärin 11 g/kg ka ja Rehutaulukossa 13 g/kg ka.

Hankkeessa määritettiin yleisimpien ja/tai potentiaalisimpien rehuaineiden fosforin sulavuus sioille ja siipikarjalle. Sulavuuskokeet toteutettiin Luken eläintiloissa. Hankkeen sikojen sulavuuskokeet käynnistivät Luken sikakoetoinnin uudelleen noin 15 vuoden tauon jälkeen. Tutkittavat rehuaineet valittiin yhteistyössä tutkimukseen osallistuvien tahojen kanssa huomioiden sika- ja siipikarjatiloihin eniten käytössä olevat rehuaineet. Fosforin sulavuusmääritykset toteutettiin sioilta kokonaissulavuutena keruukauden avulla ja siipikarjalta ohutsuolisulavuutena teurastustekniikalla. Sikojen sulavuuskokeessa kerättiin sontanäytteitä myös fosforifraktioiden määrittämistä varten. Broilereilla vehnälle saatiin fosforin ohutsuolisulavuudeksi 47 %, kauralle 49 %, kuoritulle kauralle 43 %, härkävavulle 46 % ja herneelle 55 %. Sioilla vastaavasti ohran fosforin standardoitu kokonaissulavuus oli 58 %, vehnän 63 %, kauran 52 %, herneen 53 %, härkävavun 47 % ja ohravalkuaisrehun 65 %. Sulavuuskertoimet päivitetään Rehutaulukoihin. Palkoviljojen fosforin sulavuustulosten varmistamiseksi sioilla, tulisi tehdä lisätutkimuksia.

Hankkeessa arvioitiin eri rehuaineiden käytön vaikutusta lannan fosforin käyttökelpoisuuteen kasveille määrittämällä sikojen sontanäytteistä fosforin liukoisuus Hedleyn fraktioidilla. Tulosten perusteella arvioitiin myös eri rehuaineiden vaikutusta lannan fosforin huuhtoutumisriskiin. Valtaosa sonnan fosforista oli epäorgaanisessa muodossa. Rehuseoksista OVR nosti sonnan kokonaisfosforipitoisuutta verrattuna muihin rehuseoksiin. Helppoliukoisen (H<sub>2</sub>O +

NaHCO<sub>3</sub>) fosforin pitoisuus oli 5 g/kg perusdieetillä olleilla sioilla ja eri rehuseoksia saaneilla sioilla helppoliukoisen fosforin pitoisuus vaihteli välillä 8–20 g/kg. Helppoliukoisen fosforin osuus lannan kokonaisfosforista oli perusdieetillä olleilla sioilla 85 % ja eri rehuseoksia saaneilla sioilla noin 95 %.

Hankkeessa saatu päivitetty tieto yleisimpien rehukasvien fosfori- ja muiden kivennäisten pitoisuuksista mahdollistaa tarkemman ruokinnansuunnittelun. Kun rehujen suunnittelussa huomioidaan rehuaineiden kivennäis- ja hivenainepitoisuus, sulavuus sekä rehuaineen vaikutus lannan fosforin liukoisuuteen ja pyritään täyttämään vain eläimen tarve, lantaan erittyvän kivennäis- ja hivenaineiden määrä vähenee.

**Asiasanat:** fosfori, viljat, valkuaisrehut, kivennäiset ja hivenaineet, sika, broileri, rehutaulukot, sulavuus, liukoisuus

## Abstract

Sini Perttilä<sup>1</sup>, Tapio Salo<sup>2</sup>, Heidi Högel<sup>2</sup>, Gabriel Da Silva Viana<sup>2</sup>, Leticia Soares<sup>2</sup>, Helena Soinne<sup>1</sup>, Tomasz Stefanski<sup>2</sup>, Kaisa Kuoppala<sup>2</sup>, Janne Kaseva<sup>2</sup> and Marketta Rinne<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Natural Resources Institute Finland, Latokartanonkaari 9, FIN-00790 Helsinki, Finland

<sup>2</sup> Natural Resources Institute Finland, Tietotie 4, FIN-31600 Jokioinen, Finland

The main goal of the project was to update the mineral concentrations and digestibility coefficients of the most commonly used feed materials for pigs and poultry in the Finnish Feed Tables maintained by Natural Resources Institute Finland (Luke; [www.luke.fi/feedtables](http://www.luke.fi/feedtables)) and to gather more information on the impact of various feed materials on the properties of phosphorus excreted in faeces. Luke served as the responsible executor and administrator of the project. A-Rehu Ltd. and Yara Ltd. assisted in collecting samples and acquiring data from previous analyses. The project was initiated based on industry needs and was planned and carried out in close collaboration with industry collaborators.

A data base including over 600 phosphorus concentrations were collected from both oats and spring wheat, and more than 800 from barley. For other minerals, results were available for about half of the phosphorus concentration samples. The mineral concentrations of peas were determined for 25 samples, and for faba beans, for 35 samples. The phosphorus concentrations in spring cereals from 2016 to 2020 were at the same level or slightly higher than the values in the Finnish Feed Tables. No changes in the phosphorus concentrations of spring cereals were observed over the approximately twenty-year review period, although differences between the years were quite large. For other minerals in spring cereals, the values in the Feed Tables corresponded with the determined concentrations. The phosphorus concentrations in peas were slightly lower than the values in the Feed Tables. For faba beans, the phosphorus concentrations in the Feed Tables corresponded fairly well to the mean of the current data set. The greatest difference in the determined mineral concentrations of legumes was in the potassium concentrations of peas, which averaged 11 g/kg DM (dry matter) in the samples and 13 g/kg DM in the Finnish Feed Tables.

The project determined the phosphorus digestibility of the most common and potentially significant feed materials for pigs and poultry. The pig digestibility trials marked the resumption of Luke's pig trial operations after a break of approximately 15 years. The feed materials were selected in collaboration with the parties involved in the research, considering those most commonly used on pig and poultry farms. Phosphorus digestibility was determined as total digestibility for pigs using total collection, and as ileal digestibility for poultry, using slaughter technique. In the pig digestibility trial, faecal samples were collected to determine also different phosphorus fractions. For broilers, ileal phosphorus digestibility was 47% for wheat, 49% for oats, 43% for dehulled oats, 46% for faba beans, and 55% for peas. For pigs, standardized total phosphorus digestibility was 58% for barley, 63% for wheat, 52% for oats, 53% for peas, 47% for faba beans, and 65% for barley protein feed. The digestibility coefficients will be updated in the Finnish Feed Tables database. Further research is needed to confirm phosphorus digestibility of grain legume seeds for pigs.

The project also evaluated the impact of different feed materials on the availability of faecal phosphorus for plants by determining phosphorus solubility in pig faeces samples using Hedley's fractionation method. The results were used to assess the impact of various feed materials on the risk of phosphorus runoff from manure. The majority of phosphorus in faeces was in inorganic form. Among the feed mixtures, barley protein feed (OVR) increased the total phosphorus content of the faeces compared to other mixtures. The concentration of easily soluble ( $\text{H}_2\text{O} + \text{NaHCO}_3$ ) phosphorus was 5 g/kg in pigs on the basal diet, while in pigs fed various feed mixtures, the concentration ranged from 8 to 20 g/kg. The proportion of easily soluble phosphorus in the total phosphorus of faeces was 85% in pigs on the basal diet and approximately 95% in pigs fed various feed mixtures.

The updated information on phosphorus and other mineral concentrations in the most common feed crops obtained from the project enables more precise ration formulation. When mineral and trace element content, digestibility, and the effect of the feed material on the solubility of faecal phosphorus are considered in diet optimization, with the goal of meeting only the animal's needs, the amount of minerals and trace elements excreted into manure decreases.

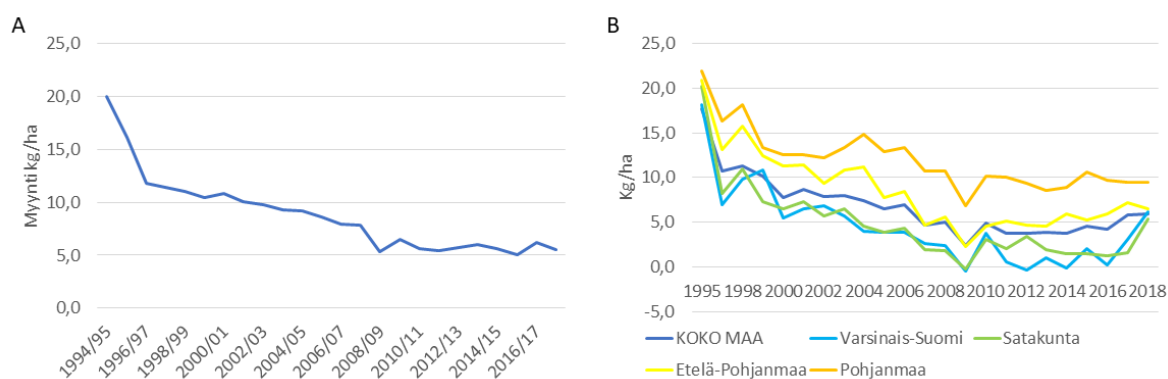
**Keywords:** phosphorus, cereals, protein ingredients, minerals and trace elements, pig, broiler, feed tables, digestibility, solubility

# Sisällys

<b>1. Johdanto .....</b>	<b>10</b>
<b>2. Rehuaineiden kivennäispitoisuudet .....</b>	<b>14</b>
2.1. Aineistot ja menetelmät.....	14
2.2. Tulokset ja tulosten tarkastelu.....	16
2.3. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	20
<b>3. Rehuaineiden fosforin sulavuus .....</b>	<b>22</b>
3.1. Rehuaineiden fosforin sulavuus siipikarjalla.....	23
3.1.1. Johdanto.....	23
3.1.2. Aineisto ja menetelmät.....	23
3.1.3. Eläimet, pito-olosuhteet ja koeasetelma .....	23
3.1.4. Tulokset ja tulosten tarkastelu .....	30
3.1.5. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	32
3.2. Rehuaineiden fosforin sulavuus sioilla .....	35
3.2.1. Johdanto.....	35
3.2.2. Aineistot ja menetelmät .....	35
3.2.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu .....	43
3.2.4. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	50
<b>4. Johtopäätökset.....</b>	<b>53</b>

# 1. Johdanto

Ympäristönsuojelun lainsäädäntö ja ohjeet sekä ympäristökorvausjärjestelmä ovat vähentäneet ja tarkentaneet lannoitteiden käyttöä (Kuva 1A). Ympäristötuen alkuvuosiin verrattuna (1995–1999) maatalouden fosforitaseen ylijäämä on 64 % pienempi vuosina 2014–2017 (Kuva 1B, Taulukko 1), ja viime vuosien vaihtelut fosforitaseessa selittyvät lähinnä kasvukausien sääolojen välisillä eroilla. Tutkimuksessa ympäristökorvauksen toimenpiteiden ympäristövaikutuksista (Hyvönen ym. 2020, liite 1) todetaan, että vuosiin 2008–2009 asti lannassa pelloille levitetyn fosforin määrä laski, mutta sen jälkeen määrät ovat lisääntyneet aktiivisen eläintuotannon maakunnissa.



**Kuva 1.** A) Fosforiravinteiden myynti maataloille vuosina 1994–2017 (kg/ha). B) Fosforitaseen kehitys vuosina 1995–2019 koko maassa ja sika- ja siipikarjatuotannon kannalta keskeisimpien ELY-keskusten alueilla. Lähde: Luonnonvarakeskus.

**Taulukko 1.** Fosforitaseen kehitys ympäristötukikausittain. Lähde: Yli-Viikari ym. (2019).

Kausi	Fosforitase
1985–1989	28,6
1990–1994	18,5
1995–1999	12,8
2000–2006	7,6
2007–2013	4,0
2014–2017	4,6

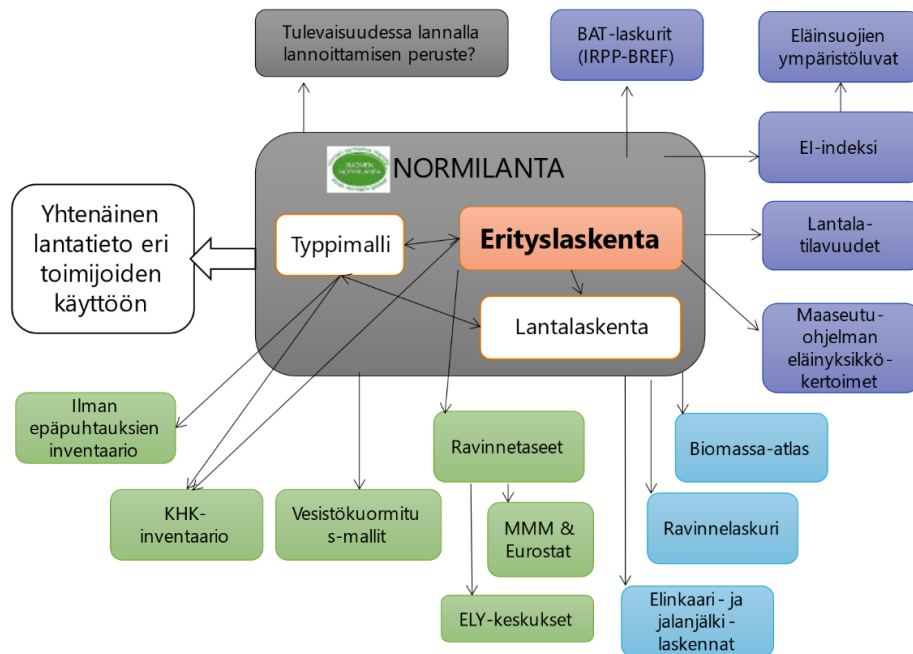
Fosforitaseen jatkuvan laskun voidaan olettaa vaikuttaneen myös viljelykasvien kivennäissisältöön. Luonnonvarakeskuksen tekemässä selvityksessä viljoissa ja nurmirehuissa on havaittu aikaisemmissa selvityksissä eroja määritettyjen ja rehutaulukoissa ilmoitettujen pitoisuuksien välillä (Salo ym. 2014).

Rehuaineiden fosforin sulavuus on tärkeä tekijä rehustuksen suunnittelussa, kun halutaan minimoida rehuun lisättävän epäorgaanisen mineraalifosfaatin määrä sekä ympäristöön eläimen elimistöä käyttämättä jääneenä erittyvän fosforin määrä. Rehufosfaatti on ehtyvä luonnonvara ja se on myös yksi kalleimmista rehun lisäaineista. Eläinten rehustuksen suunnittelussa fosforin määrä halutaan pitää turvallisena, mikä on johtanut siihen, että ruokintasuosituksissa fosforin määrässä on usein reilu marginaali. Eläin ei kuitenkaan pysty hyödyntämään rehun

fosforia täysimääräisesti vaan rehun fosforiylimäärä erittyy ympäristöön, jossa se toimii ravinteena ja aiheuttaa mm. vesistöjen rehevöitymistä.

Fosfori on kasvien siemenissä pääasiassa sitoutuneena fytaattiin, jota yksimahaisten eläinten ruuansulatusentsyymit pilkkovat huonosti. Fosforin sulavuus vaihtelee rehuaineittain ja fosforin saannin optimoimiseksi fosforin sulavuus on tärkeä tieto. Kotieläinten ruokinnassa keskeisten rehuaineiden kivennäispitoisuudet ja käyttökelpoisuus on päivitetty viimeksi 2000-luvun alussa. Sioille ja siipikarjalle rehutaulukoissa ilmoitetut rehuaineiden sulavuus- ja käyttökelpoisuustiedot ovat osittain ulkomaista alkuperää ja tuotettu käyttäen erilaisen geneettisen taustan omaavia eläimiä eli hybridejä ja rotuja, joita Suomessa ei käytetä. Lisäksi siipikarjalle on ilmoitettu osittain sikojen sulavuustietoja tietojen puuttumisen vuoksi. Erityisesti päivitystarvetta on suomalaisen tuotannon erityispiirteisiin liittyvien rehuaineiden tiedoista, kuten kauran, kevätviljojen ja palkoviljojen kivennäisten pitoisuus- ja sulavuustiedoista. Arvot rehutaulukoissa vaikuttavat laajasti, sillä myös useiden markkinoilla olevien rehuseosten raportoidut kivennäissällöt perustuvat rehutaulukoista otettuihin arvoihin.

Rehutaulukoissa ([www.luke.fi/rehutaulukot](http://www.luke.fi/rehutaulukot)) esitetyjä arvoja käytetään laajasti sekä ruokinnan ja rehujen suunnittelussa että myös päätöksenteon apuna käytettävien laskelmien pohjana. Virheelliset tai vanhentuneet rehujen kivennäispitoisuudet aiheuttavat poikkeamia ravinnon tarpeen täyttymisessä, joka voi vaikuttaa eläinten hyvinvointiin ja aiheuttaa ylimääräisten ravinteiden erittymistä sotaan ja virtsaan sekä edelleen lantana ympäristöön. Rehutaulukoissa esitetyt kivennäispitoisuudet ja sulavuuskertoimet ovat pohjana Luonnonvarakeskuksen toteuttamissa kotieläinten erityislaskennoissa, joiden tuloksia käytetään lukuisissa kotieläintuotannon toimintaa ja päästöjä arvioivissa laskennoissa ja edelleen sitä ohjaavassa lainsäädännössä ja vapaaehtoisissa järjestelmissä (Kuva 2). Suomen normilanta -järjestelmän (Luostarinen ym. 2017) avulla arvioidaan Suomessa muodostuvan lannan ja sen ravinteiden määrää, ja laskennan ensivaiheena on rehutietoihin pohjautuva erityislaskenta. Normilantalaskenta on sidottu kotieläintalouden ilman laatuun vaikuttavien typen yhdisteiden päästöjen laskentaan ja kansainväliseen raportointiin (Grönroos ym. 2017), joissa lannankäsittely kattaa suurimman osan mm. ammoniakista. Sen tuottamia lantatietoja käytetään myös maatalouden vesistökuormituksen arvioinnissa (VEMALA-malli, SYKE). Erityislaskenta on myös lähtökohta maatalouden kasvihuonekaasuinventaarioon ja ravinnetaselaskentaan (Luke), ympäristösuojelulain (527/2014) edellyttämän eläinsuojien ympäristöluvituksen tai ilmoitusmenettelyn (138/2019) eläinyksikkökertoimiin, lannalla lannoittamiseen vaadittuun pinta-alaan, IED-direktiivin (2010/75/EU) suurilta sika- ja siipikarjatiloilta vaatimaan erityislaskentaan (BAT-BREF) sekä ympäristökorvausjärjestelmän eläinyksikkökertoimiin (45/2015). Kokonaisuuteen liittyvät myös Suomen tavoitteet ravinnekierrätyksen tehostamisesta, jossa lanta on merkittävin ravinnepitoinen biomassa.



**Kuva 2.** Erityslaskennan tietojen käyttö.

Lisääntynyt kiinnostus soijan korvaamiseen vaihtoehtoisilla valkuaislähteillä kuten härkäpavulla, herneellä ja rypsilä vaikuttaa todennäköisesti myös fosforin pidättymiseen ja erittymiseen sioilla ja siipikarjalla, sillä rehun koostumuksella on osoitettu olevan vaikutusta sikojen endogeeniseen fosforin eritykseen (Bikker ym. 2017). Lisäksi Partasen ym. (2010) selvityksessä havaittiin, että lannan vesiliukoisen fosforin määrä riippuu rehuseoksen koostumuksesta. Vesiliukoista fosforia oli hieman enemmän liemimäistä ohravalkuaisrehua sisältäneellä ruokinnalla kuin ohra-soijaruokinnalla (Partanen ym. 2010). Partasen ym. (2010) tutkimuksessa selvisi myös, että epäorgaanisen fosforin (fosfaatin) vähentäminen ja fytaasi-entsyymien lisääminen rehuun alensi sonnan fosforipitoisuutta ja vähensi vesiliukoisen fosforin määrää, mutta helppoliukoisen fosforin suhteellinen osuus suureni. Tutkimuksen tekoaikaan rehuseokset sisälsivät yleisesti vielä nykyistä runsaasti enemmän lisättyä epäorgaanista fosfaattia. Fytaasin laajemman käytön myötä epäorgaanisen fosforin käyttö on vähentynyt ja sialle käyttökelpoisen fosforin osuus rehun fosforista on lisääntynyt. Kuitenkaan nykyään käytössä olevien rehuaineiden vaikutuksesta lannan fosforiin ja lannan fosforin ominaisuuksiin sekä käyttökelpoisuuteen kasveille ei ole tietoa.

Hankkeessa tuotettu tieto tarkensi käsitystä sika- ja siipikarjatuotannon ympäristövaikutuksista ja ravinnekierroista. Suomen lantafosforin on arvioitu lähes riittävän kasvintuotannon tarpeisiin (Ylivainio ym. 2015, Luostarinen ym. 2019), mutta koska kotieläintuotanto on keskitettyä, lantaravinteiden kiertämisessä on merkittävää tehostamistarvetta. Lisäksi lannalla lannoittamisen perustana on joko nitraattiasetuksen (1250/2014) taulukkoarvot tai korkeintaan viisi vuotta vanha lanta-analyysi, joista kumpikin sisältää vain kokonaisfosforin eikä liukoista fosforia, jonka rooli vesistökuormituksessa on merkittävä. Tieto rehuvalintojen vaikutuksista fosforin käyttöön ja erittymiseen lantaan tuo välttämätöntä ymmärrystä ja tietoa päätöksentekoon sekä julkiseen keskusteluun ruokinnan tarkentamiseksi, ravinnekiertojen tehostamiseksi ja lannan käytön ympäristövaikutusten vähentämiseksi. Näin mahdollistetaan kestävämpi ja resurssitehokkaampi luonnonvaratalous sekä kotieläintuotannon kehittäminen.

## Viitteet

- Bikker, P., van der Peet-Schwering, C., Gerrits, W., Sips, V., Walvoort, C. & Van Laar, H. ym. 2017. Endogenous phosphorus losses in growing-finishing pigs and gestating sows. *Journal of Animal Science* 95(4). <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1041>
- Grönroos, J., Munther, J. & Luostarinen, S. 2017. Calculation of atmospheric nitrogen and NMVOC emissions from Finnish agriculture - Description of the revised model. Reports of the Finnish Environment Institute 37/2017. <http://hdl.handle.net/10138/-229364>
- Hyvönen, T., Heliölä, J., Koikkalainen, K., Kuussaari, M., Lemola, R., Miettinen, A. & Rankinen, K. 2020. Maatalouden ympäristötoimenpiteiden ympäristö- ja kustannustehokkuus (MYTTEHO) loppuraportti. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 12/2020. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-919-4>
- Luostarinen, S., Grönroos, J., Hellstedt, M., Nousiainen, J. & Munther, J. 2017. SUOMEN NORMILANTA – laskentajärjestelmän kuvaus ja ensimmäiset tulokset. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 47/2017. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-441-0>
- Luostarinen, S., Tampio, E., Berlin, T. & Grönroos, J. 2019. Keinoja orgaanisten lannoitevalmisteiden käytön edistämiseen. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisu 5/2019. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-941-8>
- Partanen, K., Karhapää, M., Voutila, L. & Ylivainio, K. 2010. Ruokinnan keinot sianlannan fosforipitoisuuden alentamiseksi. Suomen Maataloustieteellisen Seuran tiedote nro 26, 2010. <https://doi.org/10.33354/smst.75698>
- Plaami, S. & Kumpulainen, J. 1991. Determination of phytic acid cereals using ICP-OES to determine phosphorus. *Journal Association of Official Analytical Chemistry* 74: 32–36. <https://doi.org/10.1093/jaoac/74.1.32>
- Salo, T., Eurola, M., Rinne, M., Seppälä, A., Kaseva, J. & Kousa, T. 2014. The effect of nitrogen and phosphorus concentrations on nutrient balances of cereals and grass silage. MTT Report no 147: 36 p. Saatavilla: <http://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/482918/-mttraportti147.pdf>
- Yli-Viikari, A. 2019. Maaseutuohjelman (2014–2020) ympäristöarviointi. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 63/2019. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-822-7>
- Ylivainio, K., Sarvi, M., Lemola, R., Uusitalo, R., Turtola, E. 2015. Regional P stocks in soil and in animal manure as compared to P requirement of plants in Finland: Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management. WP4 Standardisation of manure types with focus on phosphorus. *Natural resources and bioeconomy studies* 62/2015. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-129-7>

## 2. Rehuaineiden kivennäispitoisuudet

Hankkeessa selvitettiin sikojen ja siipikarjan ruokinnassa keskeisenä käytettävien rehuaineiden kivennäis- ja hivenainepitoisuudet sekä niiden vaihtelu.

### 2.1. Aineistot ja menetelmät

Työpaketissa 1 selvitettiin suomalaisten rehuviljojen (vehnä, ohra, kaura) ja keskeisimpien suomalaisten palkoviljojen (herne, härkäpapu) kivennäis- ja hivenainepitoisuuksia sekä niiden vaihtelua. Aineisto koostui sidosryhmien ja Ruokaviraston keräämistä näytteistä (Taulukko 2). Lisäksi hankkeessa hyödynnettiin muissa Luken hankkeissa tehtyjä analyyskejä ja niiden puitteissa kerättyjä näyteaineistoja. Käytettävissä olivat mm. ravinnetaselaskennan kehittämistä varten 2002–2012 analysoitu näytesarja fosforista (Salo ym. 2014) ja Multa-hanketta varten analysoidut Oranki-hankkeen näytteiden viljojen kivennäispitoisuudet. Näistä kaikista näytteistä oli tiedossa myös viljanäytteen laatuun, peltolohkoon ja viljelyyn liittyvää taustatietoa. Multa-hankkeen yhteydessä oli määritetty myös kauran ja ohran hivenravinteiden ja haitallisten metallien pitoisuuksia.

Lisäksi kerättiin ja analysoitiin uusia näytteitä. Uusien näytteiden ja analyysien tarvetta oli eniten palkoviljojen osalta. Herneen ja härkäpavun näytteitä saatiin Boreal kasvinjalostuksen lajikekoikeista ja Hukka-hankkeesta. Lisäksi oli käytettävissä muutamia Ferdisveg- ja ScenoProt-hankkeiden tuloksia.

Näytteiden taustatiedoista otettiin huomioon saatavuuden mukaan viljelyn tilan tuotantosuunta (kasvi- vai kotieläintila), lajike, maalaji, maan viljavuustiedot, alue, kasvukauden olosuhteet ja lannoitus. Vuosien ja alueiden välistä vaihtelua arvioitiin kasvilajien sisällä ja selvitettiin lannoitustasojen, maan viljavuustietojen ja lajikkeiden vaikutusta kivennäispitoisuuksiin. Lisäksi tarkasteltiin, voidaanko kerätyn aineiston perusteella rehuaineiden kivennäispitoisuuksia luokitella näytteen muun laadun, esim. hehtolitrainpainon tai valkuaispitoisuuden perusteella. Rehuaineiden fosforipitoisuuksia verrattiin kansainvälisiin ja Lukessa muissa projekteissa kerättyihin tietoihin. Hankkeessa kerättyjä rehuaineiden kivennäispitoisuuksia hyödynnettiin Luke Rehutaulukot -verkkopalvelun tietojen päivityksessä. Päivityksen yhteydessä pohdittiin, miten viljojen ja valkuaisrehujen kivennäispitoisuudet tulisi tulevaisuudessa esittää, jotta ne antaisivat paremman kuvan lajikkeen, maalajin, alueen, kasvukauden olosuhteiden ja lannoituksen vaikutuksesta kivennäispitoisuuksiin. Tähän uudistukseen ei hankkeen aikana tapahtuneessa päivityksessä kuitenkaan vielä ryhdytty.

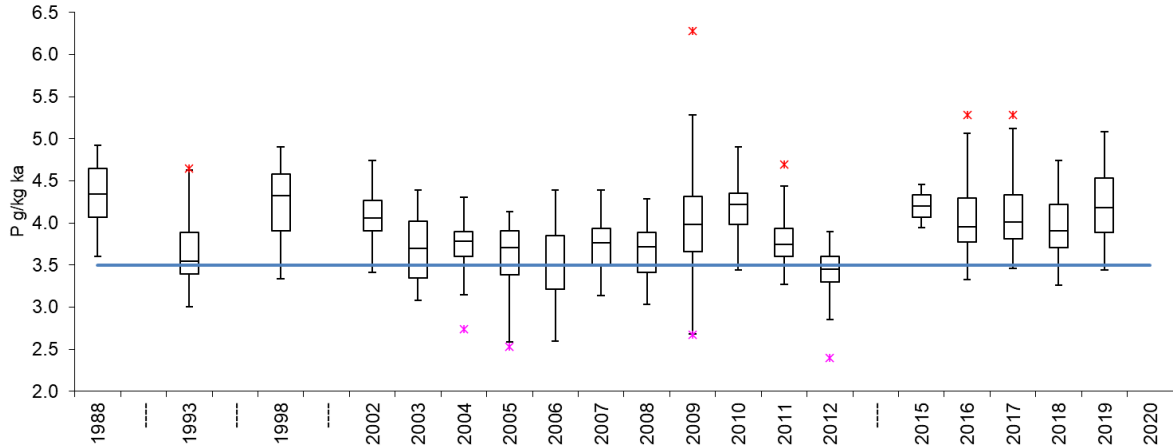
**Taulukko 2.** Tutkimusaineistot ja niiden alkuperäiset hankkeet. Jos näytteiden lukumäärässä on esimerkiksi 420/110, se tarkoittaa, että näytteiden kokonaismäärä kokeessa oli 420 kpl ja erilaisia käsittelyjä oli 110 kpl.

Aineisto ja vuodet	Ohra	Kaura	Kevät- vehnä	Herne/ Härkäpapu	Fosfori	Sivu- ravinteet
Salo ym. 2014, 2002–2012	407	386	357		x	
Rajala & Hyrkäs 2018, 2016–2017	420/110		479/120		x	
Rajala ym. 2017, 2011–2012	156/54				x	
Soinne ym. 2022, 1988, 1998, 2009, 2018, 2019, 2020	242	237	104		x	x
Salo ym. 2022, 2016–2017	50	22	25		x	x
Boreal, näytteitä 2017–2020				42	x	x
Jalli ym. 2023, 2021				36	x	x
Muut				12	x	x

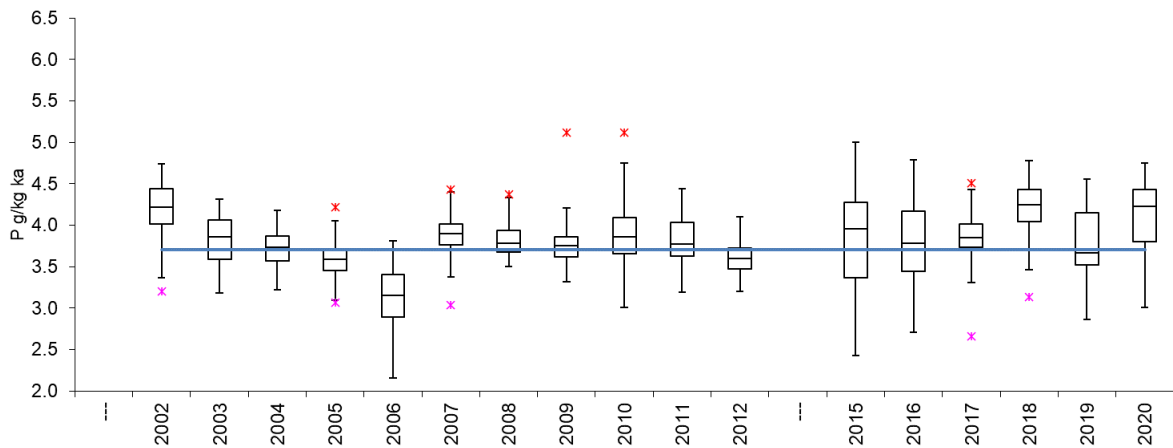
## 2.2. Tulokset ja tulosten tarkastelu

### Fosforipitoisuudet

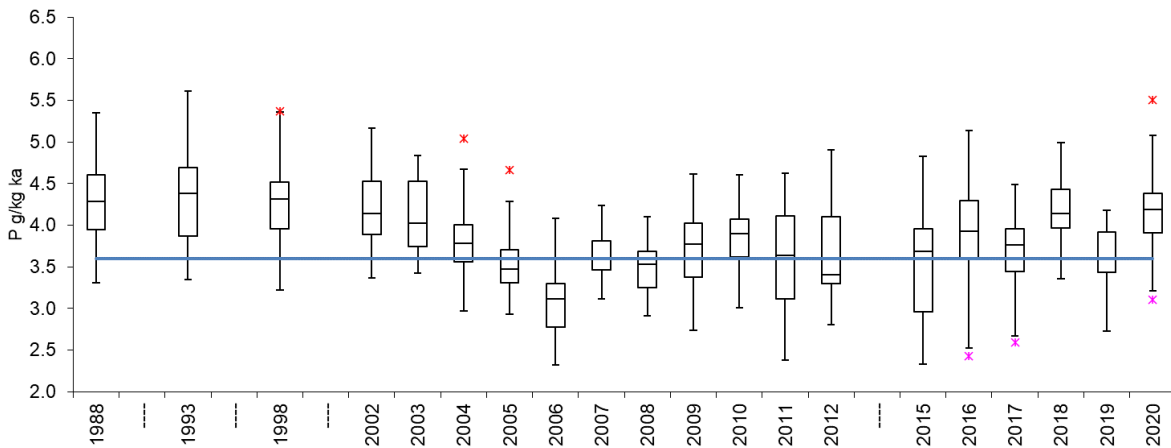
Kauran, kevätvehnän ja ohran fosforipitoisuuksista oli käytettävissä pitkät aikasarjat (Kuvat 3, 4, ja 5).



**Kuva 3.** Kauran jyvien fosforipitoisuuden vaihtelu aineistossa 1988–2020. Sininen viiva kuvaa Rehutaulukoissa 2024 esitettyä arvoa.



**Kuva 4.** Kevätvehnän jyvien fosforipitoisuuden vaihtelu aineistossa 2002–2020. Sininen viiva kuvaa Rehutaulukoissa 2024 esitettyä arvoa.



**Kuva 5.** Ohran jyvien fosforipitoisuuden vaihtelu aineistossa 1988–2020. Sininen viiva kuvaa Rehutaulukoissa 2024 esitettyä arvoa.

Kauran fosforipitoisuudet ovat vaihdelleet vuosien 1988–2020 välillä 3,5–4,4 g/kg ka (Kuva 3). Vuosina 2016–2020 fosforipitoisuuden vaihtelu on ollut vähäisempää, ja keskiarvo on ollut noin 4,0 g/kg ka, joka on hieman korkeampi kuin Rehutaulukoiden 3,5 g/kg ka.

Kevätvehnän fosforipitoisuudet olivat saatavilla vuosilta 2002–2020, ja vaihtelua esiintyi vuosien välillä 3,1–4,2 g/kg ka (Kuva 4). Vuosina 2015–2020 kevätvehnän fosforipitoisuudet ovat olleet 3,8–4,2 g/kg ka, eli hieman korkeammat kuin Rehutaulukoiden 3,7 g/kg ka.

Ohran fosforipitoisuudet (Kuva 5) olivat 2000-luvun vaihteessa hieman yli 4,0 g/kg ka. 2000-luvun puolivälistä alkaen fosforipitoisuudet alenivat ja nykyinen rehutaulukon arvo, 3,6 g/kg ka, vastaa melko hyvin nykyistä pitoisuuksien keskiarvoa. Viimeisen kymmenen vuoden aikana alhaisin ohran fosforipitoisuuden keskiarvo on 3,5 g/kg ka ja korkein 4,2 g/kg ka.

Yleisesti määritettävät laatutekijät, hehtolitrapaino, 1000 jyvän paino ja raakavalkuaispitoisuus, eivät selittäneet erityisen hyvin viljojen fosforipitoisuudessa esiintynyttä vaihtelua (Taulukko 3). Hehtolitrapainon ja fosforipitoisuuden korrelaatio oli lievästi negatiivinen kauran ja ohran kohdalla. Tuhannen siemenen painon korrelaatio fosforipitoisuuden kanssa oli negatiivinen kaikilla kolmella viljalla. Ilmeisesti satotasoa nostavien jyvien ominaisuuksien suurentuessa fosforipitoisuudet laimenivat. Kauran ja kevätvehnän fosforipitoisuudet korreloivat positiivisesti valkuaispitoisuuden kanssa.

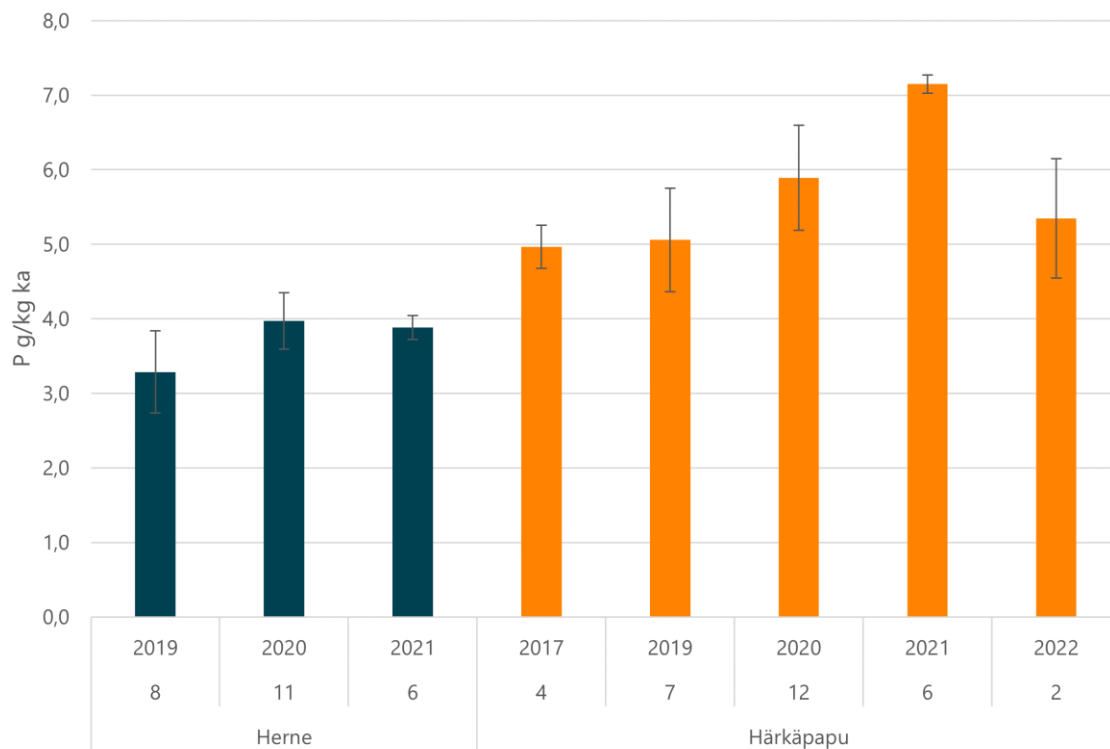
**Taulukko 3.** Jyvien fosforipitoisuuden korrelaatio hehtolitran ja 1 000 siemenen painoon sekä valkuaispitoisuuteen.

	Hehtolitrapaino	1000 siemenen paino	Valkuainen
Kaura	-0,22 (p<0,01, n=503)	-0,20 (p<0,01, n=336)	0,43 (p<0,01, n=416)
Kevätvehnä	-0,05 (ns, n=548)	-0,25 (p<0,01, n=415)	0,18 (p<0,01, n=548)
Ohra	-0,25 (p<0,01, n=572)	-0,14 (p<0,01, n=498)	0,08 (p=0,08, n=544)

Herneen ja härkäpavun fosforipitoisuuksista näytteitä oli käytettävissä huomattavasti viljoja vähemmän. Vuosien välinen vaihtelu herneen fosforipitoisuuksissa oli 3,3:sta 4,0:aan g/kg ka (Kuva 6). Lajikkeiden osalta Astronautin ja Loviisan fosforipitoisuudet vaikuttivat olevan hieman korkeammat kuin Martin ja Matildan. Rehutaulukossa herneen fosforipitoisuus on

4,0 g/kg ka, joka näyttää olevan vuosien 2019–2021 määritysten ylärajalla eli usein herneen fosforipitoisuus on todellisuudessa matalampi kuin taulukosta otettava arvo.

Neljän näytevuoden välinen vaihtelu härkävavun fosforipitoisuuksissa oli 5,0–7,0 g/kg ka (Kuva 6). Monet vuoden 2021 näytteistä olivat kasvaneet ankarassa kuivuudessa, mikä on luultavasti laskenut satotasoa ja nostanut kivennäisten pitoisuuksia. Härkävavujen keskimääräinen fosforipitoisuus oli 5,6 g/kg ka eikä lajikkeiden välillä ollut eroja. Rehutaulukon fosforipitoisuuden arvo on 5,7 g/kg ka, joten vuosien välinen vaihtelu voi olla taulukkoarvosta -12 – +25 %:ia.



**Kuva 6.** Herneen ja härkävavun fosforipitoisuudet koevuosina. Vaihtelua kuvaava jana on näytteiden keskihajonta. Näytteiden vuosittainen lukumäärä on näytevuoden alapuolella.

### Sivu- ja hivenravinteet

Kevätviljojen muiden kivennäispitoisuuksien arvot Rehutaulukossa vastaavat hyvin vuosien 2016–2020 näytteiden pitoisuuksien keskiarvoja (Taulukko 4). Kauran ja ohran kivennäisten pitoisuudet olivat näytteissä keskimäärin samalla tasolla tai hieman korkeampia kuin Rehutaulukoiden arvot. Vehnän kohdalla vain kaliumin pitoisuudet olivat näytteissä keskimäärin hieman pienempiä (4,6 g/kg ka) kuin rehutaulukon arvo (5,0 g/kg ka). Kivennäispitoisuuksissa ei havaittu selkeitä muutoksia ajan suhteen vuosina 1988–2020 kauralle ja ohralle tai 2016–2020 kevätvehnälle.

**Taulukko 4.** Sivu- ja hivenravinteiden pitoisuuksia kevätiljoissa 2016–2020.

	Kaura, n=139			Ohra, n=173			Kevätvehnä, n=129		
	Keski-arvo	Keski-hajonta	Rehu- taulukot	Keski-arvo	Keski-hajonta	Rehu- taulukot	Keski-arvo	Keski-hajonta	Rehu- taulukot
P, g/kg ka	4,1	0,4	3,5	3,9	0,5	3,6	3,9	0,5	3,7
Ca, g/kg ka	0,7	0,1	0,5	0,4	0,1	0,3	0,4	0,1	0,3
Mg, g/kg ka	1,5	0,1	1,5	1,4	0,1	1,2	1,4	0,2	1,2
K, g/kg ka	5,0	0,5	5,0	6,1	2,7	5	4,6	0,5	5
S, g/kg ka	1,7	0,2	1,4	1,4	0,2	1,2	1,6	0,2	1,4
Fe, mg/kg ka	82	38	72	51	25	53	39	13	41
Mn, mg/kg ka	50	16	30	16	9	10	38	14	20
Cu, mg/kg ka	4,4	0,9	4,0	5,3	1,4	4	5,4	1,2	5
Zn, mg/kg ka	38	8	28	34	8	30	37	9	29

Soinne ym. (2022) ovat julkaisseet tämän aineiston osana olevista kaura- ja ohranäytteistä tulokset kuparin, mangaanin, raudan ja sinkin pitoisuuksista ja niiden muutoksista ajanjaksolla 1988–2019. Tarkasteltuna ajanjaksona kauran kuparin ja raudan pitoisuudet lisääntyivät hie-  
man, ja ohran mangaanin pitoisuudet alenivat (20->15 mg/kg ka).

Ruotsissa tutkittiin orgaanisten lannoitevalmisteiden ja lannan mahdollisia vaikutuksia viljojen alkuainepitoisuuksiin (Cd, Cu, Mn, Mo, Se) pitkäaikaisissa kenttäkokeissa. Muutokset olivat vä-  
häisiä ja ainoastaan sinkin pitoisuuksien jyvissä havaittiin lisääntyneen, kun orgaanisia lan-  
noitteita oli käytetty (Hamner ja Kirchmann 2015).

### Muut alkuaineet

Multa-hankkeessa tehtiin kaura- ja ohranäytteistä ruokinnassa hivenaineisiin sisältyvien ko-  
boltin (Co) ja molybdeenin (Mo) sekä haitallisten metallien (As, Cd, Cr, Ni ja Pb) määrittämiä  
(Soinne ym. 2022). Analyysisarjaan sisältyivät myös alumiini (Al), boori (B) ja vanadiini (V).  
Näistä alkuaineista alumiini voi olla korkeissa pitoisuuksissa haitallinen, boori on kasvinra-  
vinne, mutta sitä ei ole luokiteltu eläimille välttämättömäksi ravinteeksi. Vanadiinin arvioidaan  
hyödyttävän kasveja ja eläimiä pieninä pitoisuuksina, mutta sen rooli kasvin- ja eläinravitse-  
muksessa on epäselvä.

Soinne ym. (2022) ovat raportoineet yllä mainittujen alkuaineiden pitoisuuksien muutoksista  
kaurassa ja ohrassa 1988–2019 lukuun ottamatta arseenia, kromia ja vanadiinia.

Alumiinin ja lyijyn pitoisuudet alenivat kauran ja ohran jyvissä tarkastelujakson aikana (Soinne  
ym. 2022). Ohran jyvissä koboltin pitoisuudet pienentyivät.

**Taulukko 5.** Alumiinin, koboltin, molybdeenin ja vanadiumin sekä haitallisten metallien pitoisuuksia kaurassa ja ohrassa 1988–2019. Kauramittauksia oli 180 ja ohran vastaavasti 175 (Soinne ym. 2022). Taulukon keskiarvolaskennasta on jätetty pois yksi ohranäyte poikkeuksellisen korkean pitoisuuden vuoksi (vuosi 1993, mm. Ni = 18800 µg/kg ka).

	Keskiarvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
<b>Kaura</b>				
Al, mg/kg ka	5,62	17,8	0	151
As, µg/kg ka	10,5	17,3	0	134
Cd, µg/kg ka	27,6	22,3	3,39	131
Co, µg/kg ka	29,0	27,4	2,04	172
Cr, µg/kg ka	136	243	2,06	1 360
Mo, µg/kg ka	776	516	45,9	2 810
Ni, µg/kg ka	1 446	960	115	5 740
Pb, µg/kg ka	14,4	18,3	0	129
V, µg/kg ka	14,3	40,5	0,79	376
<b>Ohra</b>				
Al, mg/kg ka	8,16	19,8	0	201
As, µg/kg ka	7,01	10,9	0	112
Cd, µg/kg ka	18,8	17,3	0,71	114
Co, µg/kg ka	14,3	17,1	0	114
Cr, µg/kg ka	140	194	0,07	1 690
Mo, µg/kg ka	469	357	24,3	2 270
Ni, µg/kg ka	137	151	0	1 360
Pb, µg/kg ka	26,2	73,7	0	880
V, µg/kg ka	21,3	44,3	1,09	410

### 2.3. Yhteenveto ja johtopäätökset

Viljojen ja palkokasvien kivennäispitoisuudet vaihtelevat kasvukausien välillä, koska sekä sato-  
tasot että ravinteiden saatavuus maasta vaihtelevat. Viljojen fosforipitoisuuksissa ei ollut nähtävissä selvää ajallista muutosta. Rehutaulukoissa esitetyt pitoisuudet vastaavat melko hyvin hankkeessa määritettyjä pitoisuuksia.

Ruotsissa tehdyssä peltomaiden ja viljojen kivennäispitoisuuden vertailussa Eriksson (2021) totesi peltomaiden kivennäispitoisuuden pysyneen melko vakaana viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana. Muutokset viljojen jyvien kivennäispitoisuuksissa olivat Ruotsissa myös vähäisiä. Kauran kalsiumpitoisuudet ja kaikkien viljojen magnesiumpitoisuudet olivat hieman pienentyneet. Kadmiumpitoisuus oli laskenut kaurassa ja ohrassa, muttei vehnässä (Eriksson 2021). Muutokset olivat pieniä myös Suomessa sekä peltomaassa, että kaurassa ja ohrassa (Soinne ym. 2022).

## Viitteet

- Eriksson, J. 2021. Tillståndet i svensk åkermark och gröda – Data från 2011–2017. Abstract in English: Current status of Swedish arable soils and cereal crops. Data from the period 2011–2017. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. (Ekohydrologi, 168).  
[https://pub.epsilon.slu.se/23486/1/eriksson\\_j\\_210514.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/23486/1/eriksson_j_210514.pdf)
- Hamner, K. & Kirchmann, H. 2015. Trace element concentrations in cereal grain of long-term field trials in Sweden. *Nutrient cycling in agroecosystems* 103: 347–358.  
<https://doi.org/10.1007/s10705-015-9749-7>
- Jalli, H., Saarinen, J. & Nysand, M. (toim.) 2023. Härkäpavun viljelyopas: Hukka-hanke. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 42/2023. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 44 s.  
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-680-1>
- Jansson, H., Ylärinta, T. & Sillanpää, M. 1985. Macronutrient contents of different plant species grown side by side. *Annales Agriculturae Fenniae* 24: 139–148.
- Mäkelä-Kurtto, R., Laitonen, A., Euroala, M., Vuorinen, A., Pasanen, T., Rankanen, R., Suominen, K., Laakso, P., Tarvainen, T., Hatakka, T. & Salopelto, J. 2007. Field balances of trace elements at the farm level on crop and dairy farms in Finland in 2004. *Agrifood Research Reports*, no. 111. MTT Agrifood Research Finland.
- Rajala, A. & Hyrkäs, M. (toim.) 2018. Fosforilannoituksen satovasteet moderneilla korkean satopotentialin lajikkeilla (FOSA)-hankkeen loppuraportti. MMM (julkaisematon).
- Rajala, A., Peltonen-Sainio P, Jalli M, Jauhiainen, L., Hannukkala, A., Tenhola-Roininen, T., Ramsay, L. & Manninen, O. 2017. One century of Nordic barley breeding: nitrogen use efficiency, agronomic traits and genetic diversity. *The Journal of Agricultural Science* 155: 582–598. doi:10.1017/S002185961600068X
- Salo, T., Euroala, M., Rinne, M., Seppälä, A., Kaseva, J. & Kousa, T. 2014. The effect of nitrogen and phosphorus concentrations on nutrient balances of cereals and grass silage. *MTT Report* 147: 36 p. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-541-7>
- Salo, T., Keskinen, R., Soine, H., Nuutinen, V., Turtola, E. Rätty, M. Kanerva, S., Simojoki, A., Sihvonen, M., Pihlainen, S., Hyytiäinen, K., Cano Bernal, J., Kortelainen, P. & Rankinen K. 2019. Orgaaninen aines maaperän tuottokyvyn kulmakivenä. Loppuraportti 9.12.2019. [https://mmm.fi/documents/1410837/0/Oranki\\_Loppuraportti+\(1\).pdf/eea8d7fa-083c-5b0a-a50b-9428fbc58c16/Oranki\\_Loppuraportti+\(1\).pdf?t=1622196952110](https://mmm.fi/documents/1410837/0/Oranki_Loppuraportti+(1).pdf/eea8d7fa-083c-5b0a-a50b-9428fbc58c16/Oranki_Loppuraportti+(1).pdf?t=1622196952110)
- Sillanpää, M. & Jansson, H. 1991. Cadmium and sulphur contents of different plant species grown side by side. *Annales Agriculturae Fenniae* 30: 407–413.
- Sillanpää, M., Ylärinta, T. & Jansson, H. (1988) Lead contents of different plant species grown side by side. *Annales Agriculturae Fenniae* 27: 39–43.
- Soine, H., Kurkilahti, M., Heikkinen, J., Euroala, M., Uusitalo, R., Nuutinen, V. & Keskinen, R. 2022. Decadal trends in soil and grain microelement concentrations indicate mainly favourable development in Finland. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 185: 578–588. <https://doi.org/10.1002/jpln.202200141>
- Ylärinta, T. & Sillanpää, M. 1984. Micronutrient contents of different plant species grown side by side. *Annales Agriculturae Fenniae* 23: 158–170.

### 3. Rehuaineiden fosforin sulavuus

Hankkeen työpaketissa 2 määritettiin yleisimpien ja/tai potentiaalisimpien rehuaineiden fosforin sulavuus sioille ja siipikarjalle käyttäen vakiintuneita menetelmiä (Shastak & Rodehutschord, 2013, Zhang & Adeola, 2017). Sulavuuskokeet toteutettiin Luken eläintiloissa Jokioilla. Tutkittavat rehuaineet valittiin yhteistyössä tutkimukseen osallistuvien tahojen kanssa (ohjausryhmä). Valinta tehtiin huomioiden sika- ja siipikarjatiloi- eniten käytössä olevat rehuaineet. Sioille rehuaineiksi valikoituivat ohra, kaura, vehnä, herne, härkäpapu sekä ohra- valkuaisrehu (OVR). Siipikarjalle määritetyt rehuaineet olivat vehnä, kaura, kuorittu kaura, herne ja härkäpapu. Käytetty hernelajike oli keltainen Astronoute ja härkäpapulajike Vire, jonka viisi- ja konvisiinipitoisuudet ovat alhaiset.

Fosforin sulavuusmääritykset toteutettiin sioilta kokonaissulavuutena sonnan ja virtsan kokonaiskeruun avulla ja siipikarjalta ohutsuolisulavuutena teurastustekniikalla. Menetelmät valittiin kirjallisuusselvityksen ja yleisesti käytössä olevien menetelmien perusteella. Yksittäinen koe koostui valmistelukaudesta ja sonnan keruukaudesta (siat) tai ohutsuolinäytteiden otosta (broilerit). Valmistelukauden alussa eläimet siirtyivät syömään koerehuja. Sioilla sonnan ja virtsan keruu toteutettiin viiden vuorokauden jaksona valmistelukauden jälkeen. Siipikarjalla ohutsuolisulavuus määritettiin ottamalla kokeen lopussa lopetuspäivänä ruokasulanäytteet ohutsuolen loppuosasta. Sonta- ja ohutsuolen ruokasulan näytteistä analysoitiin fosforin pitoisuus (Huang ym. 1985) ja sen avulla laskettiin fosforin sulavuus. Sioilta kerättiin erikseen virtsanäytteitä virtsaan erittyneen fosforimäärän tarkistamiseksi (käytetyssä menetelmässä oletetaan merkityksettömän pieneksi; esim. Emiola ym. 2007; Erityslaskenta, Luke; SiFos-hanke, Luke). Sikojen sulavuuskokeessa kerättiin sontanäytteitä myös fosforifraktioiden määrittämistä varten työpaketissa 3 (TP3).

#### Viitteet

- Emiola, A., Akinremi, O., Slominski, B. & Nyachoti, C. M. 2009. Nutrient utilization and manure P excretion in growing pigs fed corn-barley-soybean based diets supplemented with microbial phytase. *Animal Science Journal* 80(1): 19–26.  
<https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2008.00590.x>
- Huang, C.-Y. & Schulte, E. 2008. Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectrometry. *Communications in soil science and plant analysis* 16: 943–958.  
<https://doi.org/10.1080/00103628509367657>
- Plaami, S. & Kumpulainen, J. 1991. Determination of phytic acid cereals using ICP-OES to determine phosphorus. *Journal Association of Official Analytical Chemists* 74: 32–36.  
<https://doi.org/10.1093/jaoac/74.1.32>
- Shastak, Y. & Rodehutschord, M. 2013. Determination and estimation of phosphorus availability in growing poultry and their historical development. *World's Poultry Science Journal* 69: 569–586. <https://doi.org/10.1017/S0043933913000585>
- Zhang, F. & Adeola, O. 2017. Techniques for evaluating digestibility of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in feed ingredients for pigs. *Animal Nutrition* 3: 344–352.  
<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.06.008>

## **3.1. Rehuaineiden fosforin sulavuus siipikarjalla**

### **3.1.1. Johdanto**

Rehuaineiden fosforin sulavuus määritettiin broilereille ohutsuolisulavuutena käyttäen regressiomenetelmää (WPSA 2013). Maailman Siipikarjatiedejärjestön työryhmä (World Poultry Science Association Working Group (WPSA)) suosittelee tätä menetelmää käyttökelpoisen fosforin määrän määrittämiseksi. Menetelmässä käytetään alhaisen fosforimäärän sisältävää perusrehua ja vähintään kahta eri fosforimäärän sisältävää määrää tutkittavaa rehuainetta. Korkeimmalla tutkittavan rehuaineen annostelumäärällä fosforin saanti rehusta tulee olla eläimen tarpeen alapuolella. Näin tehtäessä erillistä endogeenisen erityksen korjausta ei tarvita (WPSA 2013).

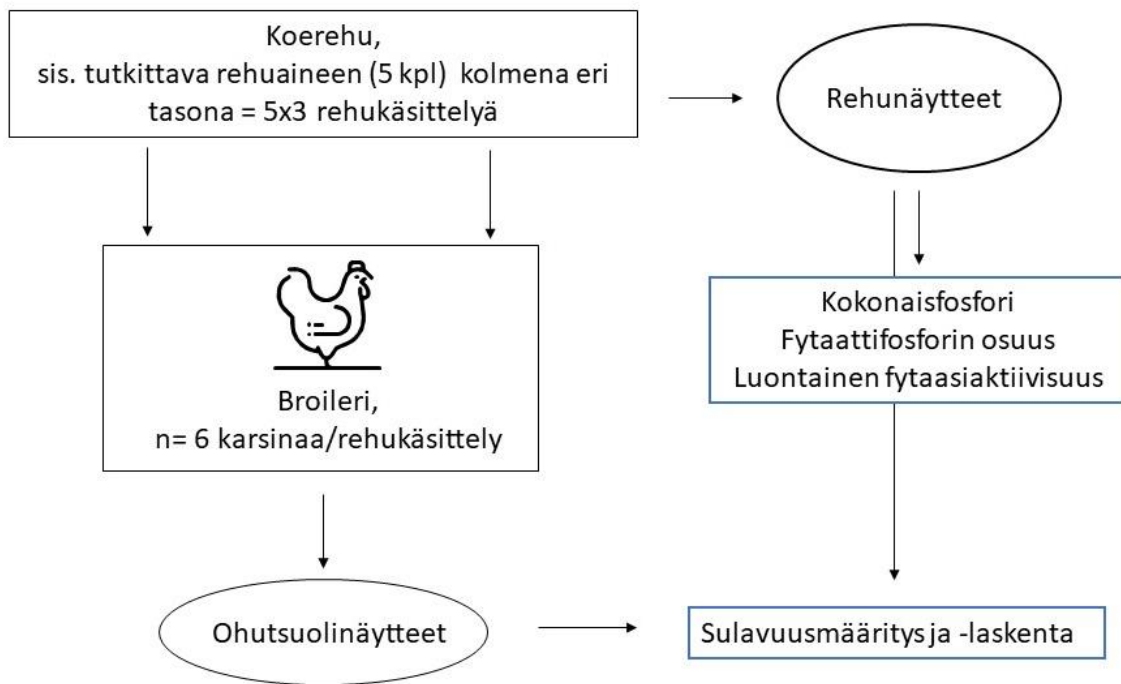
### **3.1.2. Aineisto ja menetelmät**

### **3.1.3. Eläimet, pito-olosuhteet ja koeasetelma**

Broilereiden sulavuuskokeeseen hankittiin 810 kpl Ross 308® kukkountuvikkoa paikalliselta hautomolta (DanHatch Finland Oy, Mynämäki). Untuvikot painoivat 43 g ± 10 % tullessaan Luken olosuhteiltaan kontrolloituihin eläintiloihin. Kasvatustilan lämpötila ja valaistus noudatti Ross-broilereiden jalostajien ohjeita (Aviagen 2018). Untuvikot punnittiin ja jaettiin turvepohjaisiin karsinoihin (2 m × 1 m), jotka oli varustettu katosta roikkuvilla juoma-automaateilla ja rehuastioilla. Broilereilla oli rehua ja vettä vapaasti saatavilla koko kokeen ajan.

Broilerikokeen koeasetelma on esitetty kuvassa 7. Ruokintakokeessa oli viisi eri rehuainetta: vehnä, kaura, kuorittu kaura, herne ja härkäpapu. Kutakin rehuainetta sisällytettiin perusrehuun kolmena eri tasona, jolloin rehukäsittelyiden kokonaismäärä oli 15 kpl (5×3 kpl). Jokaisesta rehukäsittelyä kohti oli kuusi (6) toistoa eli karsinaa. Kokeessa oli kaiken kaikkiaan 90 karsinaa.

Tutkimus koostui kahdesta jaksosta. Ensimmäisellä jaksolla (alkukasvatusvaihe) kaikki linnut saivat normaalia kasvatusrehua Ross 308:n suositusten mukaan (Aviagen 2019) (Taulukko 6). Tämän jälkeen broilerit punnittiin karsinoittain ja karsinat jaettiin koeruokintakäsittelyihin siten, että alkupaino ruokintakäsittelyjen alkaessa oli sama jokaisessa käsittelyssä (painokeskiarvo 1 292 g). Toisella jaksolla (koejakso) broilereille tarjottiin koerehua viiden (5) päivän ajan, jonka jälkeen linnut lopetettiin ja lintujen ohutsuolen loppuosasta (ileum) kerättiin ruokasula kivennäisanalyysyä varten. Viimeisen kahden ruokintapäivän aikana karsinoiden pehku peitettiin muovilla, jotta estettiin broilereiden pehkun syöminen.



**Kuva 7.** Broilerikokeen koeasetelma.

### Rehustus

Rehut valmistettiin Luonnonvarakeskuksen rehusekoittamossa Jokioisilla. Ennen rehujen sekoitusta raaka-aineet jauhettiin valssimyllyllä (Gehl Company, West Bend, Wisconsin, USA) 2 mm seulalla. Broilerit saivat alkukasvatusvaiheessa päivinä 0–22 (puolet karsinoista) ja 0–23 (puolet karsinoista) rehua, joka täytti lintujen ravintoainevaatimukset (WPSA 2013, Aviagen 2022) (Taulukko 6). Alkukasvatusvaiheen aluksi (1–10 pv) rehu rakeistettiin kylmäpuristimella (Amandus Kahl Laborpresse 1175, city, Germany) 2 mm raekokoon ja tästä eteenpäin (päivät 11–22) 4 mm raekokoon. Koerehut tarjottiin rakeistamatta jauheisena.

**Taulukko 6.** Alkukasvatusrehun raaka-aine- ja ravintoainekoostumus.

	0–22 päivää
<b>Raaka-ainekoostumus, g/kg</b>	
Vehnä	580,0
Kuorittu kaura	100,0
Soijarouhe (48 % RV)	254,0
Kasviöljy	22,0
Ruokintakalkki (36,6 % Ca)	14,8
Monokalsiumfosfaatti (24 % P)	10,4
Suola	4,4
L-Lysiini	3,10
DL-Metioniini	2,80
L-Treoniini	1,50
L-Valiini	0,10
Koliinikloridi (60 % koliini)	2,00
Kivennäisseos <sup>1</sup>	2,00
Vitamiinivalmiste <sup>2</sup>	2,00
Ksylanaasi <sup>3</sup>	0,10
Fytaasi <sup>4</sup>	0,10
<b>Laskennallinen ravintoainekoostumus</b>	
Typnikorjattu näennäinen muuntokelpoinen energia (AMEn), MJ/kg	12,56
Raakavalkuainen, g/kg	215,7
Kalsium, g/kg	9,5
Käyttökelpoinen fosfori, g/kg	5,0
Natrium, g/kg	1,9
SID Lysiini, g/kg	11,30
SID Metioniini, g/kg	5,44
SID Metioniini+Kystiini, g/kg	8,40
SID Treoniini, g/kg	7,50
SID Valiini, g/kg	9,34

SID = standardoitu ohutsuolisulavuus (standardized ileal digestibility)

<sup>1</sup> Kivennäisseoksesta laskennallisesti per kg täysrehua: Zn (sinkkioksidi), 110 mg; Mn (mangaanisulfaatti), 120 mg; Fe (rautasulfaatti), 20 mg; Cu (kuparisulfaatti), 16 mg; I (kalsiumjodaatti), 1.25 mg; Se (natriumseleniitti), 300 µg.

<sup>2</sup> Vitamiiniseoksesta laskennallisesti per kg täysrehua: A-vitamiini A (A-vitamiini asetaatti), 13000 IU; D3-vitamiini, 5000 IU; E-vitamiini (DL- $\alpha$ -tokoferoliasetaatti), 80 mg; K3-vitamiini, 3.2 mg; B1-vitamiini, 3.2 mg; B2-vitamiini, 8.6 mg; B6-vitamiini, 5.4 mg; B12-vitamiini, 17 µg; kalsiumpantotenaatti, 17 mg; foolihappo, 2.2 mg; biotiini, 300 µg; niasiini, 60 mg.

<sup>3</sup> 8000 BXU/kg Econase XT (AB Vista Feed Ingredients) – matriisiarvo 50 kcal.

<sup>4</sup> 500 FTU/kg Quantum Blue (AB Vista Feed Ingredients) - matriisiarvo 0,13 % Ca ja 0,15 % P.

Koerehut suunniteltiin noudattaen WPSA:n (2013) ohjeistusta broilereiden sulavuuskokeelle. Rehuaineiden ja muiden koerehujen raaka-aineiden kemiallinen koostumus (raakavalkuainen, (RV); raakarasva (RR); raakakuitu (RK); tärkkelys, pelkistyvät sokerit, kalsium (Ca) ja kokonaisfosfori (tP)) analysoitiin ja huomioitiin rehujen suunnittelussa (Taulukko 7). Tutkimuksessa käytettiin alhaisen fosforipitoisuuden perusrehua, johon sekoitettiin testattavaa rehuainetta siten, että saatiin kolme eri fosforipitoisuuden sisältävää koerehua jokaiselle testattavalle rehuaineelle (Taulukko 7).

**Taulukko 7.** Koerehuaineiden analysoitu kemiallinen koostumus.

	Ka, %	RV	RR	RK	Tärkkelys	Sokerit	Ca	tP
		g/kg ka						
Vehnä	88,3	142	15,1	23,6	760	21,5	0,32	4,28
Kaura	88,2	152	48,4	107,8	439	19,1	0,76	4,36
Kuorittu kaura	87,8	181	58,7	21,3	651	17,7	0,68	5,34
Herne	86,7	248	7,1	55,9	540	53,8	1,17	4,25
Härkäpapu	85,0	268	12,2	95,3	444	51,4	1,70	6,11

Ka = kuiva-aine, RV = raakavalkuainen, RK = raakakuitu, RR = raakarasva, Ca = kalsium, tP = kokonaisfosfori

Koerehuseoksiin lisättiin mineraalifosforia minimifosforimäärän saavuttamiseksi (noin 0,15 %, WPSA 2013), ja ruokintakalkkia kalsiumin ja kokonaisfosforin suhteen vakioimiseksi (1,4:1,0). Vehnää sisältävät (200, 424 ja 648 g/kg) koerehuseokset suunniteltiin sisältämään kokonaisfosforia 2,04; 2,76 ja 3,47 g/kg:ssa. Monokalsiumfosfaattia lisättiin sama määrä (5,1 g/kg) jokaiseen vehnää sisältävään koerehuun. Kauraa sisältävät (250, 466 ja 681 g/kg) koerehuseokset suunniteltiin sisältämään kokonaisfosforia 1,90; 2,62 ja 3,33 g/kg:ssa. Monokalsiumfosfaattia lisättiin 3,5 g/kg jokaiseen kauraa sisältävään koerehuun. Kuorittua kauraa sisältävät (200, 378 ja 556 g/kg) koerehuseokset suunniteltiin sisältämään kokonaisfosforia 1,89; 2,62 ja 3,34 g/kg:ssa. Monokalsiumfosfaattia lisättiin 3,6 g/kg jokaiseen kuorittua kauraa sisältävään koerehuun. Hernettä sisältävät (250, 479 ja 709 g/kg) koerehuseokset suunniteltiin sisältämään kokonaisfosforia 1,87; 2,58 ja 3,30 g/kg:ssa. Monokalsiumfosfaattia lisättiin 3,6 g/kg jokaiseen hernettä sisältävään koerehuun. Härkäpapua sisältävät (250, 415 ja 579 g/kg) koerehuseokset suunniteltiin sisältämään kokonaisfosforia 2,01; 2,73 ja 3,45 g/kg:ssa. Monokalsiumfosfaattia lisättiin 2,7 g/kg jokaiseen hernettä sisältävään koerehuun. Kaikkiin koerehuihin lisättiin titaanidioksidia (0,5 %) sulavuusmerkkiaineeksi. Koerehuseosten raaka-aine- ja ravintoainekoostumukset on esitetty koostetusti Taulukoissa 8 ja 9. Rehut tarjottiin jauheisessa muodossa (WPSA protokolla suositteli rakeistettuja rehuja), sillä rehuseoksen sisältämä korkea tärkkelysmäärä olisi aiheuttanut karamellisoitumista rakeistuksessa ja jotta rakeistus ei vaikuttaisi rehuaineiden luontaisen fytaasin määrään ja toimintaan. Kaikki tutkittavat rehuaineet jauhettiin 3 mm seulalla ennen sekoittamista muihin rehuraaka-aineisiin.

**Taulukko 8.** Viljakoerehujen raaka-aine- ja laskennallinen ravintoainekoostumus sekä analysoidut fytaasiaktiivisuus, titaanidioksidi- (TiO<sub>2</sub>), kokonaisfosfori- (tP) ja fytaattipitoisuudet.

Raaka-ainekoostumus, g/kg	Vehnä			Kaura			Kuurittu kaura		
	Taso 1	Taso 2	Taso 3	Taso 1	Taso 2	Taso 3	Taso 1	Taso 2	Taso 3
Vehnä	200,0	424,0	648,0	-	-	-	-	-	-
Kaura	-	-	-	250,0	466,0	681,0	-	-	-
Kuurittu kaura	-	-	-	-	-	-	200,0	378,0	556,0
Maissitärkkelys	522,0	296,0	69,0	473,0	255,0	38,0	523,0	343,0	162,0
Valkuaisjauhe (86 % RV)	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Kasviöljy	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Monokalsiumfosfaatti (24 % P)	5,1	5,1	5,1	3,5	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6
Ruokintakalkki (36,6 % Ca)	4,6	7,1	9,7	4,6	7,0	9,3	4,7	7,2	9,5
Suola	4,3	4,3	4,3	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Kivennäisseos <sup>1</sup>	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Vitamiinivalmiste <sup>2</sup>	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Koliinikloridi (50 %)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Dekstroosi	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
TiO <sub>2</sub>	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
<b>Laskennallinen koostumus</b>									
Energia (AMEn), MJ/kg	13,96	13,54	13,12	13,48	12,63	11,87	14,00	13,74	13,49
Raakavalkuainen (RV), g/kg	197,0	225,0	253,0	205,0	234,0	263,0	204,0	232,0	260,0
Kalsium (Ca), g/kg	2,8	3,8	4,8	2,7	3,7	4,7	2,7	3,7	4,7
Kokonaisfosfori (tP), g/kg	2,0	2,8	3,5	1,9	2,6	3,3	1,9	2,6	3,3
Ca:tP suhde	1,39	1,39	1,39	1,39	1,41	1,40	1,40	1,40	1,39
Arvioitu käyttökelpoinen P (avP), g/kg	1,5	1,7	1,9	1,5	1,9	2,4	1,5	2,0	2,4
<b>Analysoitu koostumus</b>									
Fytaaasiaktiivisuus, FTU/kg ka	335	766	1 019	63	93	182	29	51	81
Fytaatti-P <sup>3</sup> , g/kg ka	0,58	1,47	2,25	0,72	1,24	1,70	0,50	1,00	1,53
tP, g/kg ka	2,79	4,18	5,02	2,50	3,60	4,64	2,61	3,29	4,29
TiO <sub>2</sub> , g/kg ka	2,49	2,54	2,21	2,41	1,88	1,71	2,25	2,44	2,37

<sup>1</sup> Kivennäisseoksesta laskennallisesti per kg täysrehua: Zn (sinkkioksidi), 110 mg; Mn (mangaanisulfaatti), 120 mg; Fe (rautasulfaatti), 20 mg; Cu (kuparisulfaatti), 16 mg; I (kalsiumjodaatti), 1,25 mg; Se (natriumseleniitti), 300 µg.

<sup>2</sup> Vitamiinivalmisteesta laskennallisesti per kg täysrehua: A-vitamiini A (A-vitamiini asetaatti), 13000 IU; D3-vitamiini, 5000 IU; E-vitamiini (DL-α-tokoferoliasetaatti), 80 mg; K3-vitamiini, 3,2 mg; B1-vitamiini, 3,2 mg; B2-vitamiini, 8,6 mg; B6-vitamiini, 5,4 mg; B12-vitamiini, 17 µg; kalsiumpantotenaatti, 17 mg; foolihappo, 2,2 mg; biotiini, 300 µg; niasiini, 60 mg.

<sup>3</sup> laskettu kertomalla analysoitu fytaattipitoisuus 0,282 (fytaatin fosforipitoisuus 28,2 %)

**Taulukko 9.** Herne- ja härkäpapukoerehujen raaka-aine- ja laskennallinen ravintoainekoostumus sekä analysoidut fytaasiaktiivisuus, titaanidioksidi- (TiO<sub>2</sub>), kokonaisfosfori- (tP) ja fytaattipitoisuudet.

Raaka-ainekoostumus, g/kg	Herne			Härkäpapu		
	Taso 1	Taso 2	Taso 3	Taso 1	Taso 2	Taso 3
Herne	250,0	479,0	709,0	-	-	-
Härkäpapu	-	-	-	250,0	415,0	579,0
Maissitärkkelys	474,0	242,0	11,0	474,0	307,0	141,0
Valkuaisjauhe (86 % RV)	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Kasviöljy	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Monokalsiumfosfaatti (24 % P)	3,6	3,6	3,6	2,7	2,7	2,7
Ruokintakalkki (36,6 % Ca)	4,2	6,3	8,5	4,9	7,3	9,3
Suola	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Kivennäisseos <sup>1</sup>	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Vitamiinivalmiste <sup>2</sup>	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Koliinikloridi (50 %)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Dekstroosi	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
TiO <sub>2</sub>	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
<b>Laskennallinen koostumus</b>						
Energia (AMEn), MJ/kg	13,42	12,56	11,70	13,21	12,49	11,76
Raakavalkuainen (RV), g/kg	226,0	275,0	324,0	229,0	266,0	304,0
Kalsium (Ca), g/kg	2,6	3,6	4,6	2,8	3,9	4,8
Kokonaisfosfori (tP), g/kg	1,9	2,6	3,3	2,0	2,7	3,5
Ca:tP suhde	1,39	1,39	1,39	1,40	1,43	1,40
Arvioitu käyttökelpoinen P (avP), g/kg	1,5	2,0	2,4	1,5	1,9	2,4
<b>Analysoitu koostumus</b>						
Fytaasiaktiivisuus, FTU/kg ka	160	425	538	173	366	434
Fytaatti-P <sup>3</sup> , g/kg ka	0,60	1,36	2,04	1,03	1,76	2,49
tP, g/kg ka	2,51	3,60	4,45	2,51	3,56	4,80
TiO <sub>2</sub> , g/kg ka	3,03	3,02	2,58	3,00	2,89	2,82

<sup>1</sup> Kivennäisseoksesta laskennallisesti per kg täysrehua: Zn (sinkkioksidi), 110 mg; Mn (mangaanisulfaatti), 120 mg; Fe (rautasulfaatti), 20 mg; Cu (kuparisulfaatti), 16 mg; I (kalsiumjodaatti), 1,25 mg; Se (natriumseleniitti), 300 µg.

<sup>2</sup> Vitamiinivalmisteesta laskennallisesti per kg täysrehua: A-vitamiini A (A-vitamiini asetaatti), 13000 IU; D3-vitamiini, 5000 IU; E-vitamiini (DL- $\alpha$ -tokoferoliasetaatti), 80 mg; K3-vitamiini, 3,2 mg; B1-vitamiini, 3,2 mg; B2-vitamiini, 8,6 mg; B6-vitamiini, 5,4 mg; B12-vitamiini, 17 µg; kalsiumpantotenaatti, 17 mg; foolihappo, 2,2 mg; biotiini, 300 µg; niasiini, 60 mg.

<sup>3</sup> laskettu kertomalla analysoitu fytaattipitoisuus 0,282 (fytaatin fosforipitoisuus 28,2 %)

## Näytteiden keruu ja esikäsittely

Broilerit saivat koerehujä kahdessa erässä viiden päivän ajan, jonka jälkeen linnut lopetettiin; 1. erä 27. ja 2. erä 28. kasvatuspäivänä. Broilerit avattiin välittömästi lopetuksen jälkeen ja ruuan-sulatuskanavasta otettiin erilleen ileum (sykkyräsuoli). Vain ileumin loppuosa Meckelin divertikkelistä 2 cm ennen ohutsuolen ja umpisuolten liittymäkohtaa käytettiin. Ruokasula huuhdeltiin suolesta tislattulla vedellä näyterasiaan. Yhdeksän samassa karsinassa olleen broilerin ruokasulat yhdistettiin yhdeksi näytteeksi, pakastettiin välittömästi ja säilytettiin -80 °C:ssa pakkauskuivaukseen asti. Kuivauksen jälkeen näytteet jauhettiin 0,5 mm seulalla ja säilytettiin ilmatii- viissä rasioissa.

Tutkituista rehuaineista sekä koerehuista otettiin edustavat näytteet, jotka kuivattiin +60 °C:ssa 18 h ja jauhettiin 1 mm seulalla (Sakomylylly KT-120, Koneteollisuus Oy, Helsinki, Suomi). Aminohappomääritystä varten näytteet pakkaskuivattiin 3–4 päivää -25°C ja 0,370 mbar (Christ gamma 2–20 with controller LMC-2, Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Osterode am Harz, Germany). Pelkistävien sokereiden määrittämistä varten näytteet vesiutettiin Waring Blender sekoittajalla sekoittamalla näytettä ja vettä 1:15 suhteessa (20 g näytettä 300 g vettä), jonka jälkeen suodos suodatettiin ja sentrifugoitiin. Kivennäisanalyysiä varten näytteet esikäsiteltiin märkäpolttamalla HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-hajotusmenetelmällä mikroaaltouunissa (CEM MDS 2000).

### Kemialliset analyysit ja käytetyt menetelmät

Rehuaineista määritettiin RV, aminohapot (AH), RR, tärkkelys, sokerit, Ca ja tP. Ruokintakalista mitattiin Ca. Koerehuista määritettiin Ca, P, titaani (Ti), fytaatti ja luonnollinen fytaasiaktiivisuus. Suolen sisällöstä määritettiin P ja Ti.

Raakavalkuainen määritettiin akkreditoidulla menetelmällä (AOAC 2019) perustuvalla Kjeldahl-menetelmällä (Luke-JOK2001), jossa käytetään kuparia (Cu) digestiokatalyyttinä ja Foss Kjeltec 2400 Analyzer Unit -analysointia (Foss Tecator AB, Högnäs, Ruotsi). Raakasrasva määritettiin automatisoidulla uuttoyksiköllä Soxtec™ 8000, (FOSS Analytical, Tanska) akkreditoidulla menetelmällä JOK3008, joka perustuu viralliseen AOAC-menetelmään 920.39 (Fat (Crude) or Ether Extract in animal Feed (Association of Official Analytical Chemists, USA)) ja AACC-menetelmään 30–25 (Crude fat in Wheat, Corn, and Soy Flour, Feeds, and Mixed Feeds). Tärkkelyksen, fytaatin ja fytaasiaktiivisuuden mittaaminen tehtiin käyttäen Megazymen kittejä: tärkkelykselle Total Starch Assay Kit (AA/AMG) (K-TSTA), fytaatile Phytic Acid Assay Kit (K-PHYT) ja fytaasiaktiivisuudelle Phytase Assay Kit (K-PHYTASE). Kivennäisainepitoisuudet mitattiin käyttäen ICP-spektrometria. Esikäsittelystä saatu uute analysoitiin iCAP 6500 DUO ICP-emission spektrometrillä (Thermo Scientific, city, United Kingdom). Aminohappomääritykset suoritti Eurofins Scientific Finland (Mikkeli, Suomi).

### Laskennan perusteet ja laskentakaavat

Ohutsuolisuolisulavan fosforin osuus (precaecal digestible P, pcdP) laskettiin jokaiselle rehulle ja jokaiselle toistolle (karsinalle). Laskenta perustui sulamattoman merkkiaineen ja kokonaisfosforin konsentraatioon rehussa ja ohutsuolen sisällössä:

$$\text{pcdP (\%)} = 100 - [100 \times (M_{\text{Rehu}} \times P_{\text{Suolen sisältö}}) / (M_{\text{Suolen sisältö}} \times P_{\text{Rehu}})] \quad [\text{Kaava 1}]$$

, jossa

$M_{\text{Rehu}}$  ja  $M_{\text{Suolen sisältö}}$  = mitattu merkkiainekonsentraatio rehussa tai suolen sisällössä (g/kg KA);

$P_{\text{Rehu}}$  ja  $P_{\text{Suolen sisältö}}$  = mitattu fosforikonsentraatio rehussa tai suolen sisällössä (g/kg KA).

Ohutsuolisuolisulavan fosforin määrä (pcdP) rehussa laskettiin seuraavasti:

$$\text{pcdP (g/kg rehua)} = \text{pcdP (\%)} \times P_{\text{Rehu}} / 100 \quad [\text{Kaava 2}]$$

### Tilastollinen tarkastelu

Ohutsuolisuolisulavan fosforin määrää (pcdP) (g/kg rehua) tarkasteltiin vasten kokonaisfosforikonsentraatiota (g/kg rehua) lineaarisella regressiomallilla. Regressiosuoran kulmakerroin kerrottuna 100:lla antaa tarkastellun fosforilähteen fosforin ohutsuolisuolavuuden prosentteina. Desimaaleja ei protokollan mukaan esitetä. Variaatiomittana raportoidaan estimoidun kulmakertoimen keskivirhe kerrottuna 100:lla, ja se esitetään yhden desimaalin tarkkuudella.

### 3.1.4. Tulokset ja tulosten tarkastelu

Lintujen paino määritettiin karsinakohtaisesti koeruokintajakson alussa ja lopussa ja tämän perusteella laskettiin lintujen keskimääräinen päiväkasvu koejaksoilla (Taulukko 10). Lintujen karsinakohtaisissa painoissa ei havaittu eroja koejakson alussa eikä lopussa, mutta keskimääräisissä päiväkasvuissa oli eroja kauraa ja kuorittua kauraa syöneiden lintujen osalta: molemmissa tapauksissa suurinta tasoa (taso 3) syöneiden lintujen päiväkasvu oli suurempi kuin pienintä tasoa (taso 1) syöneiden (Taulukko 10). Vehnää, kauraa ja kuorittua kauraa syöneillä linnuilla päiväkasvu nousi asteittain tasojen kasvaessa, kun taas herneellä ja härkäpavulla päiväkasvu laski suurimmalla tasolla (Taulukko 10).

**Taulukko 10.** Lintujen keskipaino (g) koejakson alussa ja koejakson loppuessa sekä keskimääräinen päivittäinen kasvu (g/pv).

	Lintujen keskipaino, g		Päiväkasvu, g/pv
	Paino alussa	Paino lopussa	
Vehnä, keskiarvo	1 289	1 523	46,8
Vehnä, taso 1	1 282	1 468	37,2
Vehnä, taso 2	1 292	1 544	50,4
Vehnä, taso 3	1 292	1 556	52,8
SEM	15	18	2,85
<i>p</i> -arvo	0,958	0,092	0,050
Kaura, keskiarvo	1 289	1 485	39,3
Kaura, taso 1	1 292	1 453	32,2 <sup>a</sup>
Kaura, taso 2	1 292	1 490	39,7 <sup>ab</sup>
Kaura, taso 3	1 282	1 511	45,9 <sup>b</sup>
SEM	12	18	2,22
<i>p</i> -arvo	0,932	0,428	0,030
Kuorittu kaura, keskiarvo	1 299	1 527	45,7
Kuorittu kaura, taso 1	1 311	1 495	36,9 <sup>a</sup>
Kuorittu kaura, taso 2	1 295	1 515	44,0 <sup>ab</sup>
Kuorittu kaura, taso 3	1 291	1 572	56,1 <sup>b</sup>
SEM	15	17	2,69
<i>p</i> -arvo	0,874	0,175	0,005
Herne, keskiarvo	1 294	1 529	47,0
Herne, taso 1	1 294	1 517	44,7
Herne, taso 2	1 298	1 544	49,0
Herne, taso 3	1 289	1 526	47,5
SEM	16	14	2,33
<i>p</i> -arvo	0,974	0,768	0,765
Härkäpapu, keskiarvo	1 294	1 526	46,3
Härkäpapu, taso 1	1 289	1 522	46,5
Härkäpapu, taso 2	1 300	1 545	49,1
Härkäpapu, taso 3	1 293	1 510	43,3
SEM	14	16	1,60
<i>p</i> -arvo	0,963	0,683	0,356

SEM = standard error of the mean, keskvirhe

Ohutsuolisuolisulavan fosforin osuus (precaecal digestible P, pcdP) laskettiin jokaiselle rehulle ja jokaiselle toistolle (karsinalle). Tätä arvoa hyödynnettiin rehun sisältämän ohutsuolisuolisulavan fosforin määrän (pcdP) laskennassa. Nämä arvot on esitetty Taulukossa 11. Laskennan perusteella rehun sisältämän ohutsuolisuolisulavan fosforin määrä kasvoi testattavan rehuaineen lisäyksen mukaan tasolta 1 tasolle 3. Kaikilla muilla rehuaineilla paitsi herneellä koerehun sisältämän rehuaineen määrällä ei ollut merkitsevää vaikutusta sen sisältämän fosforin sulavuuteen (Taulukko 11). Herneellä suurin sulavuuskerroin saatiin pienimmällä sisällytyksellä (taso 1) ja se erosi merkitsevästi tasosta 2.

**Taulukko 11.** Fosforin ohutsuolisuulavuus (pcdP) ja ohutsuolisuulavan fosforin pitoisuus koerehuissa (pcdP) sisällytystasoin.

	pcdP, %	pcdP, g/kg ka
Vehnä, taso 1	67,7	1,87 <sup>a</sup>
Vehnä, taso 2	65,3	2,74 <sup>b</sup>
Vehnä, taso 3	57,7	2,88 <sup>b</sup>
SEM	2,46	0,140
<i>p</i> -arvo	0,231	0,001
Kaura, taso 1	59,0	1,50 <sup>a</sup>
Kaura, taso 2	60,6	2,20 <sup>b</sup>
Kaura, taso 3	54,6	2,51 <sup>b</sup>
SEM	2,33	0,132
<i>p</i> -arvo	0,571	0,001
Kuorittu kaura, taso 1	65,5	1,74
Kuorittu kaura, taso 2	58,5	1,93
Kuorittu kaura, taso 3	56,9	2,44
SEM	1,65	0,096
<i>p</i> -arvo	0,050	0,001
Herne, taso 1	71,6 <sup>a</sup>	1,82 <sup>a</sup>
Herne, taso 2	63,4 <sup>b</sup>	2,30 <sup>b</sup>
Herne, taso 3	65,0a <sup>b</sup>	2,86 <sup>c</sup>
SEM	1,47	0,113
<i>p</i> -arvo	0,041	<0,001
Härkäpapu, taso 1	56,8	1,44 <sup>a</sup>
Härkäpapu, taso 2	49,9	1,76 <sup>a</sup>
Härkäpapu, taso 3	51,2	2,48 <sup>b</sup>
SEM	2,00	0,127
<i>p</i> -arvo	0,347	<0,001

Laskennassa saatuja ohutsuolisululavan fosforin määriä (pcdP) (g/kg rehua) tarkasteltiin vasten kokonais-fosforikonsentraatiota (g/kg rehua) lineaarisella regressiomallilla. Kullekin rehuaineelle rakennettiin oma regressiomalli, jonka sopivuutta tarkasteltiin tilastollisesti (Taulukko 12). Vehnälle saatiin fosforin ohutsuolisulavuudeksi 47 %, kauralle 49 %, kuoritulle kauralle 43 %, härkäpavulle 46 % ja herneelle 55 %.

**Taulukko 12.** Rehuaineiden sulavuuskertoimien määrittämistä varten lasketut regressioyhtälöt ja mallin sopivuuden tarkastelu.

Rehuaine	Regressioyhtälö, $y = a (SE) + b (SE) x$	R <sup>2</sup>	SD	p-arvo
Vehnä	$\text{pcdP} = 0,619 (0,417) + 0,471 (0,102) \times P_{\text{rehu}}$	0,57	0,400	<0,001
Kaura	$\text{pcdP} = 0,295 (0,383) + 0,494 (0,104) \times P_{\text{rehu}}$	0,59	0,371	<0,001
Kuorittu kaura <sup>1</sup>	$\text{pcdP} = 0,565 (0,245) + 0,432 (0,072) \times P_{\text{rehu}}$	0,77	0,174	<0,001
Härkäpapu	$\text{pcdP} = 0,238 (0,297) + 0,456 (0,079) \times P_{\text{rehu}}$	0,68	0,316	<0,001
Herne	$\text{pcdP} = 0,383 (0,224) + 0,552 (0,062) \times P_{\text{rehu}}$	0,83	0,202	<0,001

SE = standard error

<sup>1</sup> poistettu 4 poikkeavaa havaintoa (2 tasolta 2 ja 2 tasolta 3)

### 3.1.5. Yhteenveto ja johtopäätökset

Noin 70 % fosforista arvioidaan olevan sitoutuneena fytaattiin siipikarjan yleisimmissä rehuaineissa (Van der Klis & Versteegh 1999). Broilereiden ruokinnassa käytettyjen rehuaineiden fosforin käyttökelpoisuutta on arvioitu vuosien varrella eri tavoin; fosforin sulavuuden määrittämistapa ja elimistölle käyttökelpoisen fosforin (engl. available P) määre on vaihdellut eri aikakausina ja eri yhteyksissä, esim. eri rehuarvojärjestelmien välillä. Tämän seurauksena World Poultry Science Association:n (WPSA) rehutyöryhmä päätti vuonna 2009 vakioida protokollan käyttökelpoisen fosforin (aP) määrittämiseksi rehuaineista. Suositusprotokolla julkaistiin vuonna 2013 (WPSA 2013). Protokolla hyödyntää regressiometodia, jonka avulla voidaan laskea rehuaineille ohutsuolisulavuus (engl. prececal digestibility, pcd). Linnuilla kivennäisten pääasiallinen imeytyminen tapahtuu ohutsuolen alkuosasta pohjukaissuoletta (duodenum), joten ohutsuolisulavuuden on arvioitu olevan soveltuva fosforin sulavuuden määrittämiseksi. Tähänkin menetelmään liittyy epävarmuuksia, mutta tällä hetkellä se on yleisesti hyväksytty tapa arvioida fosforin sulavuutta broilereilla.

WPSA:n julkaisema protokolla on hyvin yksityiskohtainen. Siinä on suositukset mm. lintujen sukupuolesta ja minimimäärästä per karsina, ja karsinoiden määrä per käsittely on määritetty. Myös lintujen iästä keruukaudella on annettu suositus (21–28 vrk). Protokollassa käytetään alhaisen fosforipitoisuuden perusrehua, johon sekoitetaan testattavaa rehuainetta siten, että saadaan 2–3 eri fosforipitoisuuden sisältävää koerhua jokaiselle testattavalle rehuaineelle. Koerehuissa kokonaisfosforipitoisuus oli porrastettu (~0,075 %). Perusrehussa käytettävien rehuaineiden on oltava vähäfosforisia eivätkä ne saa sisältää fytaattia tai luontaista fytaasiaktiivisuutta. Koerehut voivat sisältää testattavan rehuaineen lisäksi mm. ohra- tai maissitärkkelystä, albumiinia, perunaproteiinia ja dekstroosia. Ruokinnallinen fosforitaso pidetään ruokintasuositusten alapuolella, mutta valkuaistaso korkeana, sillä alhainen valkuaistaso laskee fosforin sulavuutta ja saattaa lisätä fosforin endogeenistä eritystä.

Varsinainen sulavuuslaskenta perustuu sulamattoman merkkiaineen (Ti) ja fosforin pitoisuuksiin syötetyssä rehussa ja ohutsuolen sisällössä. Näiden arvojen perusteella lasketaan ohutsuolisulavan fosforin (pcdP) pitoisuus syötetyssä rehussa. Linearisessa regressioanalyysissä ohutsuolisulavan fosforin pitoisuutta (pcdP) tutkittavassa rehussa tarkastellaan vasten syötetyn rehun kokonaisfosforikonsentraatiota. Analyysin perusteella lasketun regressiosuoran kulmakertoimesta (regressiokerroin) saadaan fosforilähteen sisältämän fosforin ohutsuolisulavuus.

Suomalaisissa rehutaulukoissa siipikarjan käyttökelpoisen fosforin pitoisuudet on laskettu tällä hetkellä sikojen sulavuuskertoimia käyttäen. Tässä raportissa julkaistujen kokeiden tulokset täydentävät hyvin aiemmin julkaistua tietoa broilereiden rehuaineiden fosforin sulavuudesta (Taulukko 13). Viimeisen kymmenen vuoden aikana WPSA:n protokollan julkaisemisen jälkeen fosforin sulavuuskertoimia käsittelevät julkaisut ovat keskittyneet erilaisten fytaasientsyymien vaikutukseen fosforin sulavuuskertoimiin ja eläinperäisten rehuraaka-aineiden sekä erilaisten epäorgaanisten fosfaattilähteiden fosforin sulavuuksien määrittämiseen (esim. Adekoya ym. 2021, Amerah ym. 2014, Dilelis ym. 2021, Hampton ym. 2022, Mutucumarana, ym. 2015, Trairatapiwan ym. 2018). Suomessa yleisimmin käytettyjen siipikarjan rehuaineiden osalta eniten tutkimustietoa löytyy vehnän sekä herneen fosforin sulavuudesta (Taulukko 13). Vehnällä lajikkeen on havaittu vaikuttavan voimakkaasti sen sisältämän fosforin sulavuuteen (Witzig ym. 2018), joten erot julkaistuissa sulavuuskertoimissa saattavat olla selitettävissä lajike-eroilla. Tässä raportissa julkaistu sulavuusarvo asettuu aiemmin julkaistujen arvojen keskivaiheille (Taulukko 13). Suomessa rehuissa käytetyt hernelajikkeet ovat usein keltaisia herneitä ja tässä raportissa esitettyjen tulosten määrittämiseen on käytetty myös keltaista reuhernelajiketta (Astronaute). Herneelle kirjallisuudesta löytyvät arvot vaihtelevat 42–74 prosenttiin, joista ainakin korkeimmat sulavuusarvot on määritetty käyttäen vihreitä hernelajikkeita (Adekoya & Adeola, 2023a ja b). Vähiten varsinaisia tutkimustuloksia on julkaistu kauran fosforin sulavuudesta.

**Taulukko 13.** Saatujen tulosten vertailu aiemmin julkaistuihin fosforin sulavuuskertoimiin.

Rehuaine	Vehnä	Kaura	Kuorittu kaura	Härkäpapu	Herne
Fosikana, 2023	0,47	0,49	0,43	0,46	0,55
CVB, 2021	0,38	0,50	0,50	-	0,42
FEDNA, 2021	0,36–0,41	0,42	0,42	-	0,43
Abdollahi ym. 2013	0,52	-	-	-	-
Mutucumarana ym. 2014	0,46	-	-	-	-
Witzig ym. 2018	0,38–0,67	-	-	-	-
Adekoya & Adeola, 2023a	-	-	-	0,67	0,73
Adekoya & Adeola, 2023b	-	-	-	-	0,74

## Viitteet

- Abdollahi M., Ravindran, V. & Svihus, B. 2013. Influence of grain type and feed form on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of nitrogen, starch, fat, calcium and phosphorus in broiler starters. *Animal Feed Science and Technology* 186:193–203
- Adekoya, A. & Adeola, O. 2023a. Energy and phosphorus utilization of pulses fed to broiler chickens. *Poultry Science* 102: 102615.
- Adekoya, A. & Adeola, O. 2023b. Evaluation of the utilisation of energy and phosphorus in field peas fed to broiler chickens. *British Poultry Science* 64(6): 726–732.
- Adekoya, A., Park, C. & Adeola, O. 2021. Energy and phosphorus evaluation of poultry meal fed to broiler chickens using a regression method. *Poultry Science* 100(7): 101195.
- Amerah, A., Plumstead, P., Barnard, L. & Kumar, A. 2014. Effect of calcium level and phytase addition on ileal phytate degradation and amino acid digestibility of broilers fed corn-based diets. *Poultry Science* 93(4): 906–915. CVB, Feedstuff database, 2021, <https://www.cvbdiervoeding.nl/pagina/10640/voederwaardecalculator-en-productbladen.aspx>
- AOAC 2019. Official Methods of Analysis of AOAC International (2019) 21st Ed., AOAC International, Rockville, MD, USA, ISBN 0-935584-89-7.
- FEDNA, undación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, 2021, <https://www.fundacionfedna.org/>
- Dilelis, F., Freitas, L., Quaresma, D., Reis, T., Souza, C. & Lima, C. 2021. Determination of true ileal digestibility of phosphorus of fish meal in broiler diets. *Animal Feed Science and Technology* 272: 114742.
- Hampton, J., Li, W., Mussini, F., Hilton, K., Remus, J. & Rochell, S.J. 2022. Recent Findings on Phosphorus Digestibility of Feed Ingredients in Broilers. *Proceedings of the Arkansas Nutrition Conference: Vol. 2022, Article 14.*
- Mutucumarana, R., Ravindran, V., Ravindran, G. & Cowieson, A. 2015. Measurement of true ileal phosphorus digestibility in meat and bone meal for broiler chickens. *Poultry Science* 94(7): 1611–1618.
- Mutucumarana, R., Ravindran, V., Ravindran, G. & Cowieson, A.J. 2014. Measurement of true ileal digestibility of phosphorus in some feed ingredients for broiler chickens. *Journal of Animal Science* 92: 5520–5529.
- Trairatapiwan, T., Ruangpanit, Y., Songserm, O. & Attamangkune, S. 2018. True ileal phosphorus digestibility of monocalcium phosphate, monodicalcium phosphate and dicalcium phosphate for broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology* 241: 1–7.
- Van der Klis, J. & Versteegh, H. 1999. Phosphorus nutrition of poultry. In *Recent Developments in Poultry Nutrition 2*. Garnsworthy, P.C. & Wiseman, J. (Ed.). Nottingham University Press: Nottingham, UK. pp. 309–320.
- Witzig, M., Ingelmann, C.-J., Möhring, J. & Rodehutscord, M. 2018. Variability of prececal phosphorus digestibility of triticale and wheat in broiler chickens. *Poultry Science* 97(3): 910–919.

## 3.2. Rehuaineiden fosforin sulavuus sioilla

### 3.2.1. Johdanto

Rehuaineiden fosforin sulavuus määritettiin sioilla näennäisenä ja standardisoituna kokonais-sulavuutena käyttäen erotusmenetelmää ja vähäfosforista perusrehua. Fosforin endogeeninen erityys määritettiin fosforittomalla dieetillä. Lisäksi tutkittiin rehuvalintojen vaikutuksia sotaan erittyneen fosforin määrään ja laatuun.

### 3.2.2. Aineistot ja menetelmät

#### Eläimet, pito-olosuhteet ja koeasetelma

Sikakokeeseen hankittiin 28 kpl alkupainoltaan  $34,2 \pm 1,9$  kg painoista leikkooa sikatilalta kahdessa erässä, 14 sikaa kerrallaan. Koemalli oli epätäydellinen latinalainen neliö (Kuva 8). Koe-käsittelyitä oli kahdessa eräkokeessa yhteensä neljätoista. Molemmista eristä 6 sikaa käytettiin kolmen rehuaineen testaukseen. Kaksi sikaa oli aina testauksessa samalla rehulla joka jaksolla. Ensimmäisen erän sioilla määritettiin viljojen (ohra, vehnä ja kaura) ja toisen erän sioilla valkuaisrehujen (herne, härkäpapu ja ohravalkuaisrehu (OVR)) fosforin sulavuus. Lisäksi ensimmäisen erän kuudella (6) sialla määritettiin perusrehun sulavuus ja toisen erän kuudella (6) sialla endogeenisen fosforin erityksen määrä fosforittomalla rehulla. Molemmista koe-erissä kaksi sikaa oli sikojen sairastumisen takia varalla syöden tavanomaista sikojen alkukasvatusrehua. Kokeet suunniteltiin siten, että sikojen ikä ja paino vaikuttaisivat mahdollisimman vähän sulavuusmäärittämiseen.

#### 1. eräko

Karsina nro

Sika nro

1. jakso

2. jakso

3. jakso

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	1	2	3	4	5	6	13-15	16-18
							Sika 13	Sika 16
							Sika 14	Sika 17
							Sika 15	Sika 18

#### 2. eräko

Karsina nro

Sika nro

1. jakso

2. jakso

3. jakso

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	7	8	9	10	11	12	19-21	22-24
							Sika 19	Sika 22
							Sika 20	Sika 23
							Sika 21	Sika 24

	Kaura
	Vehnä
	Ohra

	Herne
	Härkäpapu
	OVR

	Perusrehu
	Fosforiton rehu

**Kuva 8.** Koemalli ja sikojen käyttö kokeissa.

Sikakokeissa oli kolme jaksoa, jotka kukin koostuivat 5 päivän totutuskaudesta ja 5 päivän keruukaudesta. Totutuskaudella siat olivat yksilöllisissä  $2,50 \text{ m} \times 2,25 \text{ m}$  karsinoissa yksilöllisen rehun syönnin varmistamiseksi. Keruukaudella siat olivat rutiläpohjaisissa päältä avoimissa metaboliakarsinoissa (seinän korkeus = 106 cm (kiinteä seinä 82 cm); pituus = 135 cm; leveys = 115 cm), joissa oli rehukaukalo, vesinippa ja virtsan keruuastia. Sioilla oli mahdollisuus näköyhteyteen toistensa kanssa. Tutkimushuoneen lämpötila oli noin  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  ja valaistus oli päällä 12 h vuorokaudessa.

## Rehut ja ruokinta

Siat ruokittiin kahdesti päivässä klo 07:00 ja 19:00. Varasiat ja kaikki siat noin viikon ennen kokeen alkua saivat normaalia lihasikojen alkukasvatusrehua (193 g RV/kg ka) (Taulukko 14), totutuskaudella ja keruukaudella koerehuja (Taulukot 15, 16 ja 17). Vettä oli tarjolla vapaasti. Rehuseokset säilytettiin kuivina ja niihin sekoitettiin vettä juuri ennen ruokintaa. Rehutähteet punnittiin yksilöllisen syönnin määrittämiseksi. Sikojen paino punnittiin totutuskausien alussa ja keruukausien alussa ja lopussa. Rehuannos jaksoittain laskettiin punnitun painon mukaan siten, että siat saivat 95 g kuiva-ainetta metabolista elopainokiloa kohti.

**Taulukko 14.** Alkukasvatusrehun raaka-aineet ja rehuseoksen suunniteltu laskennallinen ja analysoitu kemiallinen koostumus.

<b>Koostumus, g/kg</b>	
Ohra	733
Soijarouhe	200
Rypsiöljy	20
Vitamiini- ja kivennäisseos <sup>1</sup>	35
Ruokintakalkki (37 % Ca)	7,6
L-Lysiini HCL	3,0
L-Treoniini	0,9
DL-Metioniini	0,9
<b>Laskettu kemiallinen koostumus</b>	
Kuiva-aine, g/kg	872
Nettoenergia, MJ/kg DM	10,86
Raakavalkuainen, g/MJ NE	184
Sulava lysyiini, g/MJ NE	1,01
Sulava metioniini ja kystiini, g/MJ NE	0,60
Sulava treoniini, g/MJ NE	0,63
Kalsium, g/MJ NE	0,84
Fosfori, g/MJ NE	0,58
Sulava fosfori, g/MJ NE	0,31
<b>Analysoitu kemiallinen koostumus</b>	
Kuiva-aine, g/kg	921
Tuhka, g/kg ka	59
Raakavalkuainen, g/kg ka	193
Raakarasva, g/kg ka	51
Tärkkelys, g/kg ka	464
NDF-kuitu, g/kg ka	174
ADF-kuitu, g/kg ka	41
Fosfori, g/kg ka	7,8
Kalsium, g/kg ka	9,5
Bruttoenergia, MJ/g ka	18,44

<sup>1</sup> Vitamiini ja kivennäisseoksesta laskennallisesti per kg rehuseos: Ca 5,01 g, P 3,26 g, Sulava P 2,24 g, Mg 0,50 g, Na 0,45 g, Fe 70,00 mg, Cu 5,08 mg, Zn 110,08 mg, Mn 50,05 mg, I 0,60 mg, Se 0,44 mg, A-vit. 5005 iu, D3 vit 2503 iu, E-vit 125 mg, K3 vit 0,74 mg, B1 vit 2,52 mg, B2 vit 5,01 mg, B6 vit 3,75 mg, B12 vit 0,13 mg, niasiini 29,93 mg, pantoteenihappo 19,95 mg, biotiini 2,24 mg and foolihappo 1,51 mg.

Ohra, vehnä ja kaura oli viljelty Jokioisilla Luonnonvarakeskuksessa. Herne, härkäpapu ja OVR saatiin rehutehtaiden (Hankkija Oy, A-Rehu Oy) kautta. Viljat, herne ja härkäpapu jauhettiin vasaramyllyllä käyttäen 2,0 mm seulaa ennen rehuseosten sekoitusta. Taulukossa 15 on esitetty rehuaineiden analysoitu kemiallinen koostumus, kalsium- ja fosforipitoisuus sekä luontainen fytaasiaktiivisuus.

**Taulukko 15.** Rehuaineiden analysoitu kemiallinen koostumus.

	Ohra	Kaura	Vehnä	Herne	Härkäpapu	OVR
Kuiva-aine, g/kg	869	880	869	867	850	237
Tuhka, g/kg ka	24	34	20	30	38	70
RV, g/kg ka	127	153	143	253	284	391
RK, g/kg ka	-	-	-	56	95	-
RR, g/kg ka	31	55	32	7	12	67
Tärkkelys, g/kg ka	713	507	772	540	444	24
Sokerit, g/kg ka	-	-	-	54	51	-
NDF, g/kg ka	194	302	167	271	318	91
ADF, g/kg ka	50	113	33	-	-	29
BE, kJ/g ka	18,5	19,4	18,6	18,8	19,2	20,1
Ca, g/kg	0,71	0,61	0,28	1,08	1,51	0,30
tP, g/kg	3,64	3,68	3,82	3,68	5,56	2,93
Fytaaasiaktiivisuus, U/kg ka	764	287	1874	781	665	38
Fytaaatti, g/kg ka	10,7	10,5	11,6	9,7	14,4	19,7

Ka = kuiva-aine, RV = raakavalkuainen, RK = raakakuitu, RR = raakasva, NDF = neutraalidetergenttikuitu, ADF = happodetergenttikuitu, BE = bruttoenergia, Ca = kalsium, tP = kokonaisfosfori

Testattavat rehuaineet sekoitettiin perusrehuun (Taulukko 16), joka sisälsi mahdollisimman vähän fosforia ja täytti muiden kivennäisten ja vitamiinien tarpeen. Testattavissa rehuseoksissa oli viljoja noin 600 g/kg ka ja palkoviljoja noin 400 g/kg ka (Taulukko 17 ja 18). Kuivat rehuseokset valmistettiin Luonnonvarakeskuksen rehusekoittamossa. OVR säilytettiin kanisteissa pakastimessa (-20 °C). Sitä sulatettiin joka jaksolle tarvittava määrä. Sulanut OVR säilytettiin jääkaapissa ja sekoitettiin kuivaan rehuun juuri ennen sioille tarjoilua. OVR:a oli testattavassa rehuseoksessa noin 180 g/kg ka (Taulukko 18). Fosforitonta rehua (Taulukko 19) käytettiin fosforin endogeenisen erityksen määrittämiseen.

**Taulukko 16.** Perusrehun raaka-aineet ja suunniteltu laskennallinen kemiallinen koostumus (muunneltu Schemmer ym. 2020).

<b>Koostumus, g/kg</b>	
Ohratärkkelys	566
Sokerijuurikasleike, kuivattu	150
Perunaproteiini	120
Kananmunan valkuaisjauhe	85
Selluloosa	43
Kasviöljy	10
Vitamiini- ja kivennäisseos <sup>1</sup>	12
Ruokintakalkki	6,2
L-Lysiini HCL	7,0
L-Treoniini	1,0
<b>Laskettu kemiallinen koostumus</b>	
Kuiva-aine, g/kg	885
Tuhka, g/kg ka	28
Raakavalkuainen, g/kg ka	217
Tärkkelys, g/kg ka	563
Kokonaisfosfori, g/kg ka	2,36
Kalsium, g/kg ka	5,96
Sulava fosfori (sP), g/kg ka	1,19
Ca:sP suhde	5,00
Nettoenergia, MJ/kg ka	11,81
Sulava lysini, g/kg ka	18,9
Sulava metioniini + sulava kystiini, g/kg ka	6,0
Sulava treoniini, g/kg ka	9,9

<sup>1</sup> Vitamiini ja kivennäisseoksesta laskennallisesti per kg rehuseos: Ca 1,64 g, P 1,07 g, Sulava P 0,74 g, Mg 0,17 g, Na 0,15 g, Fe 23,00 mg, Cu 1,67 mg, Zn 36,17 mg, Mn 16,45 mg, I 0,20 mg, Se 0,14 mg, A-vit. 1645 iu, D3 vit 822 iu, E-vit 41 mg, K3 vit 0,24 mg, B1 vit 0,83 mg, B2 vit 1,64 mg, B6 vit 1,23 mg, B12 vit 0,04 mg, niasiini 9,83 mg, pantoteenihappo 6,56 mg, biotiini 0,74 mg and foolihappo 0,49 mg.

**Taulukko 17.** Viljaseosten raaka-aineet ja suunniteltu laskennallinen kemiallinen koostumus.

<b>Koostumus, g/kg</b>	<b>Ohra</b>	<b>Kaura</b>	<b>Vehnä</b>
Vilja (kaura, ohra tai vehnä)	607,0	607,0	607,0
Ohratärkkelys	222,6	222,6	222,6
Sokerijuurikas, kuivattu	59,0	59,0	59,0
Perunaproteiini	47,2	47,2	47,2
Kananmunan valkuaisjauhe	33,4	33,4	33,4
Selluloosa	16,9	16,9	16,9
Rypsiöljy	3,9	3,9	3,9
Vitamiini- ja kivennäisseos	4,5	4,5	4,5
Ruokintakalkki	2,4	2,4	2,4
L-Lysiini HCL	2,8	2,8	2,8
L-Treoniini	0,4	0,4	0,4
<b>Laskettu kemiallinen koostumus</b>	<b>Ohra</b>	<b>Kaura</b>	<b>Vehnä</b>
Kuiva-aine, g/kg	870	870	870
Tuhka, g/kg ka	27	33	22
Raakavalkuainen, g/kg ka	145	152	157
Tärkkelys, g/kg ka	571	475	610
Fosfori, g/kg ka	3,00	2,94	3,06
Kalsium, g/kg ka	2,29	2,41	2,29
Sulava fosfori, g/kg ka	1,11	1,09	1,09
Ca:sP suhde	2,06	2,20	2,10
Nettoenergia, MJ/kg ka	10,87	10,29	11,64
Sulava lysiini, g/kg ka	8,4	9,0	8,5
Sulava metioniini ja kystiini, g/kg ka	4,5	4,8	4,7
Sulava treoniini, g/kg ka	5,2	5,3	5,5

**Taulukko 18.** Valkuaisrehuseosten raaka-aineet ja suunniteltu laskennallinen kemiallinen koostumus.

<b>Koostumus, g/kg</b>	<b>Herne</b>	<b>Härkäpapu</b>	<b>OVR</b>
Valkuaisrehu	405,0	410,0	460,0
Ohratärkkelys	336,9	334,3	305,8
Sokerijuurikas, kuivattu	89,2	88,5	81,0
Perunaproteiini	71,4	70,8	64,8
Kananmunan valkuaisjauhe	50,6	50,2	45,9
Selluloosa	25,6	25,4	23,2
Rypsiöljy	5,9	5,9	5,4
Vitamiini- ja kivennäiseseos	6,8	6,8	6,2
Ruokintakalkki	3,7	3,7	3,3
L-Lysiini HCL	4,2	4,1	3,8
L-Treoniini	0,6	0,6	0,5
<b>Laskettu kemiallinen koostumus</b>	<b>Herne</b>	<b>Härkäpapu</b>	<b>OVR</b>
Kuiva-aine (g/kg)	878	871	584
Tuhka, g/kg ka	27	29	33
Raakavalkuainen g/kg ka	214	222	231
Tärkkelys, g/kg ka	515	477	414
Fosfori, g/kg ka	2,99	3,53	3,95
Kalsium, g/kg ka	3,65	3,87	4,57
Sulava fosfori, g/kg ka	1,45	1,48	1,92
Ca:sP suhde	2,51	2,62	2,38
NE <sub>q</sub> , MJ/kg ka	10,80	10,60	10,48
Sulava lysiini, g/kg ka	16,0	16,1	15,8
Sulava metioniini ja kystiini, g/kg ka	5,3	4,9	6,6
Sulava treoniini, g/kg ka	8,3	8,4	9,2

**Taulukko 19.** Fosforittoman rehuseoksen raaka-aineet ja suunniteltu laskennallinen kemiallinen koostumus (muunneltu Petersen & Stein 2006).

<b>Koostumus, g/kg</b>	
Ohratärkkelys	530,0
Kananmunan valkuaisjauhe	160,0
Sokeri	190,0
Kasviöljy	20,0
Selluloosa	80,0
Ruokintakalkki	8,0
Suola	4,0
Magnesiumoksidi	0,8
L-Lysiini HCl	3,5
DL-Metioniini	2,5
L-Treoniini	1,5
<b>Laskettu kemiallinen koostumus</b>	
Kuiva-aine, g/kg	916
Tuhka, g/kg ka	15
Raakavalkuainen, g/kg ka	162
Tärkkelys, g/kg ka	681
Fosfori, g/kg ka	0,41
Kalsium, g/kg ka	3,33
Sulava fosfori, g/kg ka	0,27
Ca:sP suhde	12,47
NE <sub>g</sub> , MJ/kg ka	12,21
Sulava lysyiini, g/kg ka	12,2
Sulava metioniini ja kystiini, g/kg ka	7,4
Sulava treoniini, g/kg ka	7,6

### Näytteiden keruu ja esikäsittely

Tutkituista rehuaineista sekä koerehuista otettiin edustavat näytteet, jotka kuivattiin +60°C:ssa 18 h ja jauhettiin 1 mm seulalla (Sakomylylly KT-120, Koneteollisuus Oy, Helsinki, Suomi). Rehuseosten raaka-aineista otettiin edustavat näytteet rehujen sekoituksen yhteydessä. Rehuraaka-aineiden ja rehuseosten näytteet esikäsiteltiin ja näytteistä analysoitiin kuiva-aine, tuhka, kalsium, fosfori, fytaattifosfori, fytaasiaktiivisuus, raakavalkuainen, raakarasva, tärkkelys, NDF ja ADF tässä raportissa broilerikokeen yhteydessä mainituilla menetelmillä. OVR-liemestä otettiin näyte kahdelta jaksolta sekä raaka-ainenäyte, joiden keskiarvoa käytettiin laskennassa. Rehuseokset sekoitettiin rehusekoittamalla ja sekoituksen yhteydessä otettiin näytteet, joiden analyysien perusteella tulokset on laskettu. Rehujätteet punnittiin ja niistä analysoitiin kuiva-aine.

Keruukaudella sikojen sonta kerättiin Van Kleefen ym. (1994) menetelmän mukaan keruupusseihin, jotka punnittiin ja varastoitettiin pakastettuna (-20 °C). Keruukauden päätyttyä sulatetut sontanäytteet sekoitettiin sähkövatkaimella ja niistä otettiin edustava näyte jokaiselta sialta jokaiselta keruukaudelta analyysijä varten. Loppu kerätystä sonnasta varastoitettiin pakastimeen.

työpaketti 3:n analyysijä varten. Sontanäytteiden kuiva-aine määritettiin 105 °C:ssa. Sontanäytteet kuivattiin 60 °C:ssa analyysijä varten, näytteet jauhettiin 1 mm seulalla ja niistä analysoitiin kuiva-aine, raakavalkuainen, tuhka, kalsium ja kokonaisfosfori.

Lisäksi sontanäytteistä tutkittiin fosforin jakautumista käyttökelpoisuudeltaan erilaisiin fraktioihin. Hedleyn fraktioinnissa (Hedley ym. 1982, Ylivainio ym. 2017) näytteestä uutetaan peräkkäisillä erivahvaisilla uuttoluoksilla eritavoin näytteeseen sitoutunutta fosforia. Fraktioinnissa uutettiin ensin kahdella peräkkäisellä vesiuutolla veteen uuttuva epäorgaaninen ja orgaaninen fosfori. Vesiuuttojen jälkeen natrium bikarbonaattiuutolla irrotettiin sonnasta kasveille helposti käyttökelpoinen epäorgaaninen ja orgaaninen fosfori. Natriumhydroksidilla (NaOH) ja suolahapolla (HCl) uutettiin maasta vaikealiukoinen fosfori, joka voi tulla kasveille käyttökelpoiseen muotoon pidemmän ajan kuluessa.

Virtsan kerättiin muoviseen astiaan, johon lisättiin 25 ml 100 ml/l väkevystä rikkihappoa virtsan pH:n laskemiseksi 3:een tai alle. Kerätty virtsa punnittiin, otettiin edustava näyte ja virtsan astia tyhjennettiin aamuin ja illoin keruukauden aikana. Näytteet säilytettiin pakastimessa. Keruukauden päättyessä joka sian ja keruukauden virtsanäytteet sekoitettiin ja yhdistettiin analyysinäytteeksi, joita analysoitiin kuiva-aine, tuhka, kalsium ja kokonaisfosfori broilerikokeen yhteydessä kuvatuilla menetelmillä.

### Laskennan perusteet ja laskentakaavat

Fosforin näennäinen kokonaissulavuus (ATTD) laskettiin seuraavasti:

$$\text{Rehuseoksen fosforin ATTD} = (\text{P syönti} - \text{P erity}) / \text{P syönti} \quad [\text{Kaava 3}]$$

missä P syönti on kokonaisfosforin syönti [g] viiden päivän keruukauden aikana ja P erity on P kokonaiserytys sontaan [g] samana ajanjaksona.

Tutkitun rehuaineen fosforin näennäinen kokonaissulavuus määritettiin erotusmenetelmällä:

$$\text{Rehuaineen fosforin ATTD} = [\text{Dieetin fosforin ATTD} - \text{perusrehun fosforin ATTD} \times (1-a)]/a \quad [\text{Kaava 4}]$$

missä a = analysoitu rehuaineen fosforipitoisuus [g/kg ka] \* rehuseoksen sisältämä testattavan rehuaineen määrä [kg/kg ka] / analysoitu dieetin fosforipitoisuus [g/kg ka] [Kaava 5].

Fosforin standardoitu kokonaissulavuus rehuaineessa määritettiin kaavalla:

$$\text{STTD}_P = [(P_{\text{Rehu}}) - (P_{\text{virtaus}} - \text{Endo}P_{\text{virtaus}})] / (P_{\text{Rehu}}) \times 100 \quad [\text{Kaava 6}]$$

missä STTD<sub>P</sub> on fosforin todellinen sulavuus prosentteina, (P<sub>Rehu</sub>) on fosforin pitoisuus rehussa, P<sub>virtaus</sub> on fosforin virtaus sontaan ja EndoP<sub>virtaus</sub> on fosforin endogeeninen virtaus sontaan.

### Tilastollinen tarkastelu

Data analysoitiin käyttäen SAS-ohjelmiston GLIMMIX proseduuria (version 9.4; SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA), viljat ja valkuaisrehut omina kokeinaan. Mallit perustuivat kahteen identtiseen latinalaiseen neliöön (3×3), joissa jokainen eläin sai kolme käsittelyä vaihtelevassa järjestyksessä. Näin ollen kaksi eläintä saivat käsittelyt samassa järjestyksessä. Valkuaisrehukokeessa

kaksi eläintä sairastui kesken kokeen ja ne korvattiin varaeläimellä. Tämä ei ollut ideaalinen toimintatapa, mutta muuttunut järjestys huomioitiin tilastollisissa malleissa.

Mallien selittävät muuttujat olivat käsittely, periodi ja käsittelyjärjestys. Jälkimmäisten rooli oli ennen kaikkea tarkentaa käsittelyjen välisten erojen tarkastelua. Malleissa huomioitiin lisäksi eläinten toistomittausten korreloituneisuus (käytettiin Compound Symmetrya).

Käsittelyjen tilastollisessa vertailussa käytettiin merkitsevyysrajana arvoa 0.05 ja Tukeyn menetelmää, joka huomioi parittaisten vertailujen määrän. Estimointimenetelmänä käytettiin REMLiä ja vapausasteille Kenward-Rogerin menetelmää. Mallien jäännökset todettiin kelvollisiksi jäännöskuvien avulla.

### **3.2.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu**

#### **Tuotantotulokset**

Siat söivät keskimäärin  $7,8 \pm 0,8$  kg kuiva-ainetta viljakokeessa ja  $7,2 \pm 1,8$  kg kuiva-ainetta valkuaisrehukokeessa keruukausien (kesto 5 pv) aikana. Siat painoivat kokeiden alussa (1. totutuskauden alussa)  $34,2 \pm 1,9$  kg (viljakoe) ja  $34,3 \pm 2,9$  kg (valkuaisrehukoe) sekä kokeiden loppussa  $53,0 \pm 1,9$  kg (viljakoe) ja  $57,4 \pm 5,5$  kg (valkuaisrehukoe). Keskimääräinen päiväkasvu koko kokeiden aikana (1. totutuskauden alusta, viimeisen keruukauden loppuun, 30 pv) oli  $655 \pm 46$  g (viljakoe) ja  $771 \pm 124$  g (valkuaisrehukoe). Kaksi sikaa jouduttiin lopettamaan kesken kokeen viljakokeessa: toinen sika sairastui Lawsoniaan tilalla annetusta rokotuksesta huolimatta ja toinen sika sairastui hengitystieinfektioon. Sikojen tilalle kokeeseen otettiin varasiat. Fosforittomalla rehulla olleita sikoja ei käytetty muiden rehujen sulavuusmäärityksiin, vaan ne lopetettiin heti koejakson loputtua. Tämä sen välttämiseksi, ettei fosforitonta rehua syöneiden sikojen käyttäminen muiden rehujen sulavuusmäärityksissä olisi antanut virheellisiä tuloksia.

#### **Rehuseosten koostumus**

Rehuseosten toteutunut koostumus poikkesi suunnitellusta, koska suunnittelussa käytetyt rehutaulukoissa esitetyt P-pitoisuudet olivat hennettä lukuun ottamatta pienempiä kuin koerehuista määritetyt pitoisuudet. Samoin kalsiumin määrä oli tutkittavissa rehuissa vehnää lukuun ottamatta korkeampi kuin rehutaulukon arvot. Poikkeamat eivät kuitenkaan olleet testatuissa koerehuissa niin suuria, että ne olisivat vaikuttaneet sulavuuksiin tai tulosten luotettavuuteen. Taulukossa 20 on esitetty vilja-perusrehuseosten ja perusrehun sekä taulukossa 21 herne- ja härkäpapu-perusrehuseosten, OVR-liemen kanssa käytetyn perusrehun ja fosforittoman rehun analysoitu kemiallinen koostumus.

**Taulukko 20.** Viljaseosten ja perusrehun analysoitu kemiallinen koostumus.

Analysoitu kemiallinen koostumus	Perusrehu-Ohra	Perusrehu-Kaura	Perusrehu-Vehnä	Perusrehu
Kuiva-aine, g/kg	874	883	874	880
Tuhka, g/kg ka	28	32	23	29
Raakavalkuainen, g/kg ka	156	172	166	209
Raakarasva, g/kg ka	28	42	28	20
Tärkkelys, g/kg ka	706	587	771	690
NDF, g/kg ka	229	216	124	117
ADF, g/kg ka	50	86	25	48
Fosfori, g/kg ka	3,37	3,18	3,35	1,85
Kalsium, g/kg ka	3,38	2,43	2,11	5,42
Bruttoenergia, MJ/g ka	18,5	19,0	18,6	18,7
Fytaasiaktiivisuus, U/kg ka	479	236	852	22,4
Fytaatti, g/kg ka	5,76	6,93	7,57	0,76

**Taulukko 21.** Valkuaisrehuseosten ja fosforittoman rehuseoksen analysoitu kemiallinen koostumus.

Analysoitu kemiallinen koostumus	Perusrehu-Herneseos	Perusrehu-Härkäpapuseos	Perusrehu <sup>1</sup>	Fosforiton rehu
Kuiva-aine (g/kg)	878	876	881	895
Tuhka, g/kg ka	30	32	30	26
Raakavalkuainen, g/kg ka	226	232	211	150
Raakarasva g/kg ka	20	22	22	24
Tärkkelys, g/kg ka	426	597	693	682
NDF, g/kg ka	125	168	106	39
ADF, g/kg ka	40	71	39	24
Fosfori, g/kg ka	2,80	3,54	1,88	0,55
Kalsium, g/kg ka	3,36	3,61	5,33	3,31
Bruttoenergia, MJ/g ka	18,6	18,7	18,7	18,2
Fytaasiaktiivisuus, U/kg ka	369	303	51	22,5
Fytaatti, g/kg ka	4,18	6,68	1,03	0,48

<sup>1</sup>Perusrehu, jonka kanssa OVR sekoitettiin.

### Fosforin sulavuus

Perusrehun fosforin näennäinen kokonaissulavuus oli  $73,3 \pm 2,8$  % ja standardoitu kokonaissulavuus  $86,1 \pm 2,8$  %. Näitä arvoja käytettiin viljojen ja valkuaisrehuaineiden fosforin näennäisen ja standardoitujen sulavuuksien laskentaan erotusmenetelmällä. Fosforin endogeeninen erityys määritettiin fosforitonta rehua syöneiltä sioilta. Keskimääräistä endogeenisen erityksen määrää ( $0,236$  g/kg KA syönti) käytettiin laskemaan endogeenisen erityksen yksilölliset määrät ja rehuseosten ja rehuaineiden standardoidut fosforin kokonaissulavuudet joka sialle eri käsittelyillä.

Vilja-perusrehuseosten ja viljojen fosforin näennäiset ja standardoidut sulavuudet on esitetty taulukossa 22 ja valkuaisrehu-perusrehuseosten ja valkuaisrehujen näennäiset ja standardoidut sulavuudet on esitetty taulukossa 23. Vehnä-perusrehuseoksen fosforin näennäinen sulavuus oli suurempi kuin kaura-perusrehuseoksen fosforin näennäinen sulavuus ja vehnä-perusrehuseoksen standardoitu fosforin sulavuus suurempi kuin kaura-perusrehuseoksen standardoitu fosforin sulavuus ( $p < 0,05$ ). Vehnän sekä näennäinen että standardoitu fosforin sulavuus olivat suurempia kuin kauran vastaavat fosforin sulavuudet ( $p < 0,05$ ). Ohra-perusrehuseoksen näennäinen ja standardoitu fosforin sulavuus ei eronnut kaura- eikä vehnä-perusrehuseoksen vastaavista fosforin näennäisistä ja standardoiduista sulavuuksista ( $p > 0,05$ ). Samoin ohran sekä näennäinen että standardoitu fosforin sulavuus eivät eronneet kauran ja vehnän vastaavista fosforin sulavuuksista ( $p > 0,05$ ) (Taulukko 22).

Ohravalkuaisrehu-perusrehuseoksen fosforin näennäinen ja standardoitu sulavuus olivat suurempia kuin härkäpapu-perusrehuseoksen fosforin näennäinen ja standardoitu fosforin sulavuus ( $P < 0,05$ ), sekä ohravalkuaisrehu-perusrehuseoksen fosforin näennäinen fosforin sulavuus oli suurempi kuin herne-perusrehuseoksen näennäisen fosforin sulavuus ( $P < 0,05$ ). Herne-perusrehuseoksen standardoitu fosforin sulavuus oli vastaava kuin ohravalkuaisrehu-perusrehuseoksen fosforin sulavuus ( $P > 0,05$ ). Ohravalkuaisrehun fosforin näennäinen ja standardoitu sulavuus oli suurempi kuin herneen ja härkäpavun vastaavat ( $P < 0,05$ ). Herneen näennäiset ja standardoidut sulavuudet eivät eronneet härkäpavun vastaavista fosforin sulavuuksista tilastollisesti merkitsevästi ( $P < 0,05$ ) (Taulukko 23).

**Taulukko 22.** Vilja-perusrehuseosten ja viljojen fosforin näennäiset ja standardoidut kokonais-sulavuudet (%).

	Ohra	Vehnä	Kaura	SEM	p-arvo Käsittely	p-arvo Jakso
n	6	6	6			
<b>Rehuseokset</b>						
Näennäinen P sulavuus	57,7 <sup>ab</sup>	60,8 <sup>a</sup>	51,3 <sup>b</sup>	1,7	0,022	0,075
Standardoitu P sulavuus	64,7 <sup>ab</sup>	67,8 <sup>a</sup>	58,7 <sup>b</sup>	1,7	0,027	0,075
<b>Rehuaineet</b>						
Näennäinen P sulavuus	52,7 <sup>ab</sup>	57,6 <sup>a</sup>	45,7 <sup>b</sup>	2,0	0,028	0,080
Standardoitu P sulavuus	57,9 <sup>ab</sup>	63,1 <sup>a</sup>	51,8 <sup>b</sup>	2,0	0,034	0,080

Tilastollisesti merkitsevät erot merkitty eri kirjaimin (a, b) kun P-arvo  $< 0,05$ .

**Taulukko 23.** Valkuaisrehu-perusrehuseosten ja valkuaisrehujen fosforin näennäiset ja standardoidut kokonaissulavuudet (%).

	Herne	Härkä- papu	OVR	SEM	p-arvo Käsittely	p-arvo Jakso
n	6	6	6			
<b>Rehuseokset</b>						
Näennäinen P sulavuus	57,0 <sup>b</sup>	51,8 <sup>b</sup>	64,4 <sup>a</sup>	1,9	0,001	0,097
Standardoitu P sulavuus	65,5 <sup>a</sup>	58,3 <sup>b</sup>	67,9 <sup>a</sup>	1,9	0,005	0,097
<b>Rehuaineet</b>						
Näennäinen P sulavuus	46,8 <sup>b</sup>	42,0 <sup>b</sup>	62,8 <sup>a</sup>	3,0	0,001	0,107
Standardoitu P sulavuus	52,5 <sup>b</sup>	45,6 <sup>b</sup>	64,7 <sup>a</sup>	3,0	0,002	0,107

Tilastollisesti merkitsevät erot merkitty eri kirjaimin (a, b) kun P-arvo  $< 0,05$ .

## Tulosten tarkastelu

Rehuaineiden fosforin sulavuus määritettiin erotusmenetelmällä, jota voidaan käyttää, kun testattu rehuaine ei voi olla ainoa tutkittavan aineen lähde rehuseoksessa. Perusrehun fosforin sulavuus määritettiin erillisellä eläinryhmällä ja koerehuissa osa perusrehusta korvattiin testattavilla rehuaineilla. Menetelmät valittiin kirjallisuuden ja laajalti käytettyjen menetelmien perusteella (Zhang & Adeola 2017). Fan ym. (2001) ovat osoittaneet, että P imeytyy pääasiassa ohutsuoilesta eikä sykkyräsuolesta tai ulosteesta mitatun fosforin sulavuudessa ole merkittäviä eroja. Lisäksi tässä tutkimuksessa korjattiin näennäiset sulavuudet määritettyjen endogeenisten häviöiden avulla standardoiduiksi sulavuuksiksi. Standardoidut sulavuusarvot antavat tarkemman arvion rehuaineiden fosforin sulavuudesta ja ovat additiivisia rehuseoksen sulavuutta laskettaessa (Almeida & Stein 2010). Laskennassa käytetty fosforin endogeeninen erityys mitattiin kuudella sialla ja se oli keskimäärin 236 mg/kg DMI. Zhangin ja Adeolan (2017) selvityksen mukaan P:n endogeeninen erityys on vaihdellut eri tutkimuksissa sioilla välillä 8–455 mg/kg kuiva-aineen saanti.

Fosforin sulavuuteen vaikuttaa eniten sen esiintyminen fytaattimuotoisena kasveissa. Sekä tutkituista rehuaineista että dieeteistä määritettiin fytaattipitoisuus laboratoriolle uudella menetelmällä (Lisätietoa: <https://www.megazyme.com/phytic-acid-assay-kit>). Saadut fytaattipitoisuudet ovat kirjallisuudessa esiintyneisiin arvoihin verrattuna hiukan suurempia (normaalisti alle 10 viljoilla), mutta kuitenkin suuruusjärjestykseltään vastaavia kuin kirjallisuudessa. Fytaattianalyysin testaaminen ja rehuaineiden fytaattimäärien tarkempi analysointi julkaisuja varten jatkuu hankkeen ulkopuolella. Analyysin perusteella viljoissa fytaattimäärä vaihteli 11–12 g/kg ka välillä, ollen suurin vehnässä. Valkuaisrehuissa fytaattifosforin määrä oli korkein OVR:ssä ja alhaisin herneessä; härkävavun fytaattimäärän sijoittuen näiden kahden väliin. Vehnän luontaisen fytaasin määrä oli huomattavasti korkeampi kuin muiden viljojen, kun taas kauran muita alhaisempi. OVR:n luontaisen fytaasin määrä oli merkityksetön.

Vehnän fosforin näennäinen kokonaissulavuus vastasi aikaisempien tutkimusten tuloksia vehnälajikkeille, mutta oli ohrassa hiukan aikaisemmissa tutkimuksissa saatuja tuloksia korkeampi (Htoo ym. 2007, Schemmer ym. 2020) (Taulukko 24). NRC:n (2012) taulukkoarvot ja Heyerin ym. (2022) julkaisussa fosforin näennäinen kokonaissulavuus vehnässä ja ohrassa olivat hiukan alhaisempia. Rehuaineen kuitupitoisuus (NDF) vaikuttaa fytaattiin sitoutumisen lisäksi fosforin sulavuuteen vaikuttaessaan rehuaineen sulavuuteen yleisesti, mikä näkyy vaihteluna fosforin sulavuudessa eri lajikkeidenkin välillä (Schemmer ym. 2020, Htoo ym. 2007). Viljoista kaura sisältää eniten kuitua ja sen fosforin sulavuus jäikin tässä tutkimuksessa vehnää alhaisemmaksi, eroamatta kuitenkaan ohran fosforin näennäisestä kokonaissulavuudesta. Kauran fosforin näennäinen kokonaissulavuus oli tässä tutkimuksessa saatuakin vielä hiukan alhaisempi sekä NRC:n taulukoissa (NRC 2012), että Fangin ym. (2007) julkaisussa.

Valkuaisrehuista kuitupitoisuudeltaan alhaisen ohravalkuaisrehun fosforin sulavuus oli korkein ja kuitupitoisen härkävavun fosforin sulavuus taas valkuaisrehuista alhaisin; härkävavun fosforin sulavuuden eroamatta kuitenkaan herneen fosforin näennäisestä sulavuudesta. Aikaisemmissa tutkimuksissa härkävavun fosforin näennäinen sulavuus on ollut 32 % (NRC 2012, Fang ym. 2007), ollen 10-prosenttiyksikköä alhaisempi kuin tässä tutkimuksessa. Tässä tutkimuksessa käytössä oli uudehko lajike, jonka ravintoaineiden sulavuuden voidaan odottaa olevan parempi haitta-aineiden vähentymisen takia. Herneen fosforin näennäiselle sulavuudelle löytyy kirjallisuudesta hyvinkin suurta vaihtelua (26 % (Fang ym. 2007) vs 49 % (NRC 2012) ja

55 % (Stein ym. 2006). Ohravalkuaisrehun fosforin näennäiselle sulavuudelle ei löytynyt kirjallisuudesta suoraan vertailukohdetta, mutta vehnäpohjaisen alkoholituotannon sivutuotteen fosforin näennäinen sulavuus oli Widyaratne ja Zijlstran (2007) tutkimuksessa 53 %.

Fosforin standardoitu kokonaissulavuus saadaan vähentämällä fosforin erityksestä endogeeninen fosforin erityys. Endogeenisen erityksen määrittämisessä käytettiin tässä tutkimuksessa fosforitonta dieettiä. Fosforitonta rehua syövät siat ovat ns. fosforivajeessa dieetin sisältäessä fosforia alle tarpeen, jolloin kaikki mahdollinen fosfori käytetään dieetistä hyväksi ja erittyvä fosfori katsotaan olevan endogeenistä eritystä. Tässä tutkimuksessa "fosforittomassa" dieetissä ollut vähäinen (0,55 g/kg ka) fosforin määrä oli pääosin lähtöisin valkuaisjauheesta, jonka voitiin olettaa olevan vielä 100 %:sti sulavaa ja käytetty näin fosforivajeella täysin hyväksi. Fosforin kokonaiseritys fosforittomalla dieetillä oli näin kokonaisuudessaan endogeenisestä eritystä.

Fosforin standardoitu kokonaissulavuus viljoissa oli tässä tutkimuksessa aikaisempien tutkimusten tuloksia ja rehutaulukoissa esitettyjä korkeampia (Evapig 2020, Stein ym. 2016, NRC 2012) (Taulukko 24). Kirjallisuudesta löytyi niukanlaisesti tuloksia koskien valkuaisrehujen standardoituja fosforin kokonaissulavuuksia. Todellisia sulavuuksia, jossa huomioidaan rehuaineen aiheuttama, endogeeninen erityys löytyi kirjallisuudesta enemmän. Härkäpavun fosforin standardoitu fosforin sulavuus sijoittui Evapigin (2020) ja NRC:n (2012) rehutaulukoissa esitettyjen arvojen väliin (46 vs. 56 ja 36). Herneen fosforin standardoitu kokonaissulavuus oli Evapig (2020) ja NRC (2012) rehutaulukoissa esitettyjä arvoja alhaisempi (53 vs. 71 ja 56). Vaihtelu myös standardoiduissa fosforin sulavuuksissa koskien palkoviljoja oli kirjallisuudessa yllättävän suurta. Ohravalkuaisrehun fosforin standardoidulle sulavuudelle ei löytynyt vertailutulosta.

**Taulukko 23.** Fosforin näennäinen ja standardoitu kokonaissulavuus (%) eri lähteistä.

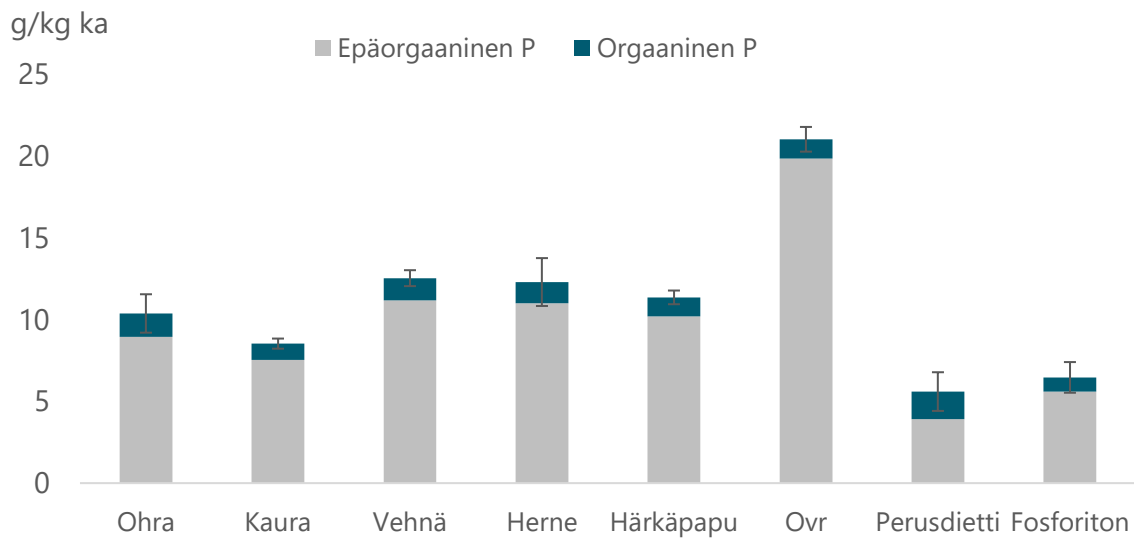
ATTD, %	Fosi- kana 2022	NRC 2012	Schem- mer ym. 2020	Stein ym. 2006	Fang ym. 2007	Htoo ym. 2007	Widyaratne & Zijlstra 2007	Heyer ym. 2022
Vehnä	58	46	56–63			57–59		52
Kaura	46	33			30			
Ohra	53	39	39–51			42–47		47
Härkä- papu	42	32			32			
Herne	47	49		55	26			
OVR	63						(vehnä 53)	
STTD, %	Fosi- kana 2022	Eva- pig 2020	NRC 2012	Stein ym. 2006	Fang ym. 2007	Stein ym. 2016		
Vehnä	63	45	56			60		
Kaura	52	48	39		(TTTD28)	39		
Ohra	58	41	45			43		
Härkä- papu	46	56	36		(TTTD51)			
Herne	53	71	56	(TTTD 61)	(TTTD37)			
OVR	65							

ATTD= näennäinen kokonaissulavuus; STTD= standardoitu kokonaissulavuus; TTTD=todellinen kokonaissulavuus

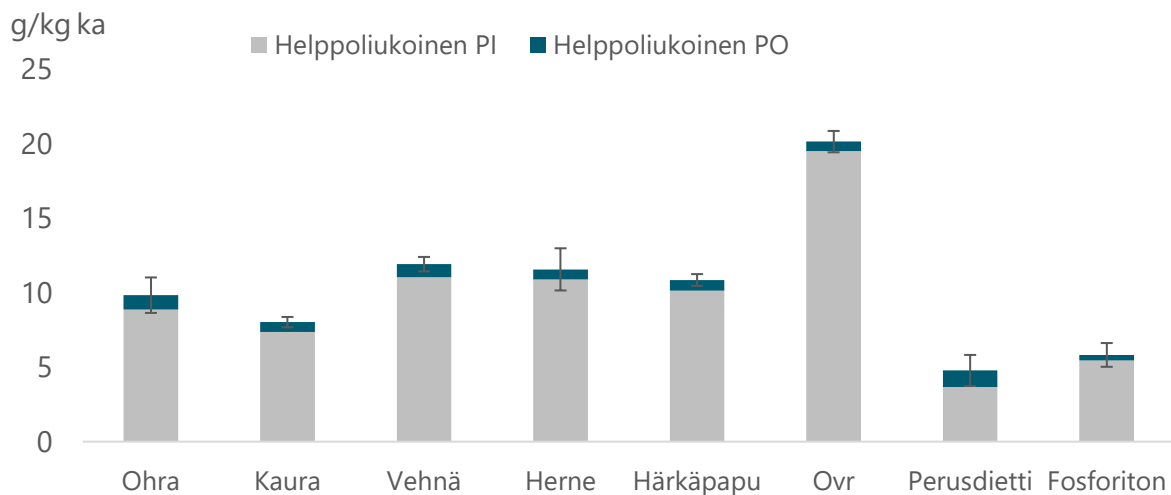
### Sonnan fosforin liukoisuus ja käyttökelpoisuus

Rehun mukana saatu, eläimelle ylimääräinen fosfori päätyy sontaan ja virtsaan. Suomalaista tietoa rehuaineiden vaikutuksesta sonnan fosforin ja erityisesti vesiliukoisen fosforin määrään on vain vähän. TP3:ssa tehtiin TP2:ssa kerätyille sontanäytteille Hedleyn fraktiointi, jossa peräkkäisillä uutoilla pyritään materiaalista uuttamaan liukoisuudeltaan tai käyttökelpoisuudeltaan erilaisia fraktioita (Hedley ym. 1982, Sharpley & Moyer 2000, Ylivainio ym. 2017, Wienhold ym. 2004). Kokonaisfosforipitoisuus määritettiin TP2:ssa.

Valtaosa sonnan fosforista oli epäorgaanisessa muodossa (Kuva 9). Helppoliukoisen (H<sub>2</sub>O + NaHCO<sub>3</sub>) fosforin pitoisuus oli 5 g/kg perusdieetillä olleilla sioilla ja eri rehuseoksia saaneilla sijoilla helppoliukoisen fosforin pitoisuus vaihteli välillä 8–20 g/kg (Kuva 10). Rehuseoksista OVR nosti sonnan kokonaisfosforipitoisuutta verrattuna muihin rehuseoksiin. Helppoliukoisen fosforin osuus lannan kokonaisfosforista oli perusdieetillä olleilla sioilla 85 % ja eri rehuseoksia saaneilla sioilla noin 95 % (Taulukko 25). Tutkitut rehuseokset vaikuttivat siis hyvin vähän sonnan helppoliukoisen fosforin osuuteen kokonaisfosforista.



**Kuva 9.** Epäorgaanisen ja orgaanisen fosforin pitoisuudet (g/kg kuiva-ainetta) eri rehuseoksilla ruokittujen sikojen sonnassa. Hajontapalkit kuvaavat kokonaisfosforin keskihajontaa.



**Kuva 10.** Helppoliukoisien (vesiuuttoinen + natriumbikarbonaattiuuttoinen) epäorgaanisen (PI) ja orgaanisen fosforin pitoisuudet (PO) (g/kg kuiva-ainetta) eri rehuseoksilla ruokittujen sikojen sonnassa. Hajontapalkit kuvaavat helppoliukoisien kokonaisfosforin keskihajontaa.

**Taulukko 24.** Kokeen aikana sontaan erittyneen kokonaisfosforin, orgaanisen fosforin ja helppoliukoisen fosforin määrät (g), sekä eritteeseen päätyneen kokonaisfosforin ja helppoliukoisen fosforin osuudet rehuna annetusta fosforista.

	Kokonais-P sonnassa, g	Sonnan orgaanisen P:n osuus, %	Sonnan helppo- liukoisen koko- naisfosforin osuus, g	Sonnan koko- nais-P:n osuus rehuna anne- tusta P:sta, %	Sonnan helppo- liukoisen P:n osuus rehuna annetusta P:sta, %
Ohra	11,3 ± 1,8	13 ± 5	95 ± 1	43 ± 5	41 ± 5
Kaura	12,8 ± 0,9	12 ± 3	94 ± 3	52 ± 5	49 ± 3
Vehnä	9,8 ± 0,7	11 ± 3	95 ± 1	38 ± 3	37 ± 3
Herne	9,4 ± 1,7	10 ± 2	93 ± 2	41 ± 7	38 ± 8
Härkäpapu	14,0 ± 1,3	10 ± 3	95 ± 0	46 ± 3	44 ± 3
OVR	19,7 ± 3,6	6 ± 1	94 ± 4	35 ± 3	30 ± 6
Perus- dieetti	3,9 ± 0,4	28 ± 13	85 ± 4	28 ± 5	25 ± 5
Fosforiton	2,0 ± 0,4	13 ± 2	90 ± 1	48 ± 15	45 ± 14

### 3.2.4. Yhteenveto ja johtopäätökset

Toteutetut sulavuuskokeet toivat päivitettyä tietoa rehuaineiden fosforin sulavuudesta sioilla. Tulokset edistävät kestävä ja älykästä resurssien käyttöä sikataloudessa samalla ympäristövaikutuksia vähentäen. Tulokset voidaan ottaa käyttöön rehujen suunnittelussa ja erityislaskeintaan pohjautuvissa laskennoissa hyödyntäen sekä eläinten ravitsemusta, tuotantoa että ympäristöä. Kun rehujen suunnittelussa huomioidaan rehuaineiden fosforipitoisuus sekä sulavuus pyrkien täyttämään vain eläimen tarve, lantaan erittyvän fosforin määrä vähenee. Valtaosa sontaan päätyvästä fosforista on helppoliukoisessa muodossa ja tutkituilla rehuseoksilla ei juuri ollut vaikutusta liukoisen fosforin osuuteen sontaan päätyvästä kokonaisfosforista. Sontaan päätyvän fosforin ympäristövaikutuksiin voidaan siis parhaiten vaikuttaa pyrkimällä vähentämään sontaan erittyvän fosforin kokonaismäärää.

Tulokset vastaavat ulkomaisia tuloksia huomioiden suomalaisen sian ja rehut. Tulokset voidaan lisätä täydentämään Luken ylläpitämään Rehutaulukot-palveluun kaikkien ulottuville. Tulosten hyödyntäminen parantaa suomalaisen siantuotantoketjun kannattavuutta ja kilpailukykyä rehujen suunnittelun tarkentuessa ja ympäristövaikutusten vähentyessä. Hankkeen sikojen sulavuuskokeet käynnistivät Luken sikakoitoiminnan uudelleen noin 15 vuoden tauon jälkeen. Fosforin sulavuudet (erityisesti valkuaisrehut) vaativat suomalaisia jatkotutkimuksia tulosten varmistamiseksi ja tulosten saamiseksi useimmista rehuaineista.

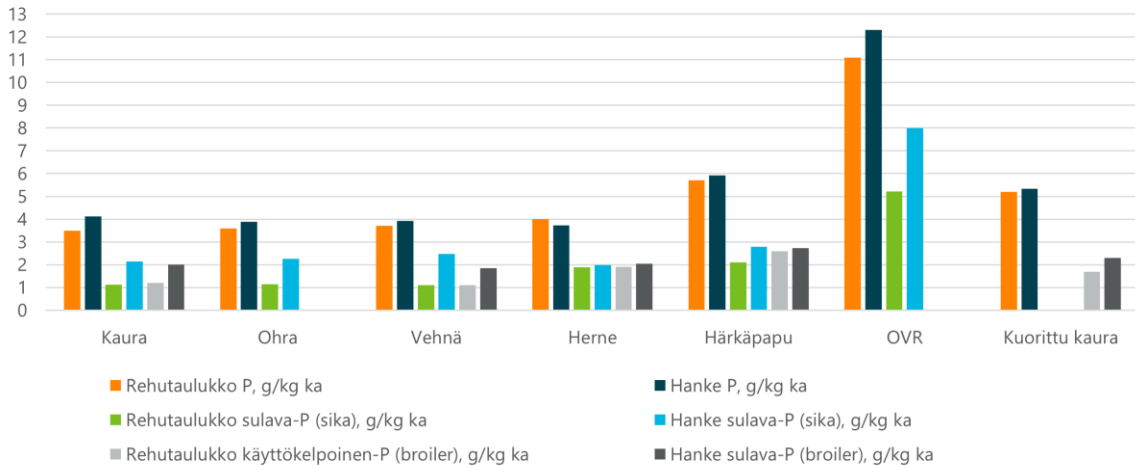
## Viitteet

- Almeida, F.N. & Stein, H.H. 2010. Performance and phosphorus balance of pigs fed diets formulated on the basis of values for standardized total tract digestibility of phosphorus. *Journal of Animal Science* 88: 2968–2977. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2285>
- Evapig 2020. <https://en.evapig.com/> Viitattu 15.4.2022.
- Fan, M.Z., Archbold, T., Lackeyram, D., Rideout, T., Gao, Y., deLange, C.F.M., Hacker, R.-R. & Sauer, W.C. 2001. Novel Methodology Allows Simultaneous Measurement of True Phosphorus Digestibility and the Gastrointestinal Endogenous Phosphorus Outputs in Studies with Pigs. *The Journal of Nutrition* 131: 2388–2396. <https://doi.org/10.1093/jn/131.9.2388>
- Fang, R., Li, T., Yin, Y., Kong, X., Wang, K., Yuan, Z., Wu, G., He, J., Deng, Z. & Fan, M. 2007. The additivity of true or apparent phosphorus digestibility values in some feed ingredients for growing pigs. *Asian-Australian Journal of Animal Science* 20: 1092–1099.
- Hedley, M., Stewart, J. & Chauhan, B. 1982. Changes in Inorganic and Organic Soil Phosphorus Fractions Induced by Cultivation Practices and by Laboratory Incubations. *Soil Science Society of America Journal* 46(5): 970–976. <https://doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600050017x>
- Heyer, C., Fohse, J., Vasamthan, T. & Zijlstra, R. 2022. Cereal grain fiber composition modifies phosphorus digestibility in grower pigs. *Journal of Animal Science* 100: 1–10. <https://doi.org/10.1093/jas/skac181>
- Htoo, J., Sauer, W., Yanez, J., Cervantes, M., Zhang, Y., Helm, J. & Zijlstra, R. 2007. Effect of low-phytate barley or phytase supplementation to a barley-soybean meal diet on phosphorus retention and excretion by grower pigs. *Journal of Animal Science* 85: 2941–2948.
- NRC 2012. *Nutrient Requirements of Swine / Committee on Nutrient Requirements of Swine, Board on Agriculture and Natural Resources, Division on Earth and Life Studies. 11 th revised edition.* ISBN 978-0-309-22423-9.
- Petersen, G. & Stein, H. 2006. Novel procedure for estimating endogenous losses and measurement of apparent and true digestibility of phosphorus by growing pigs. *Journal of Animal Science* 84(8): 2126–2132.
- Schemmer, R., Spillner, C. & Südekum, K.-H. 2020. Phosphorus digestibility and metabolisable energy concentrations of contemporary wheat, barley, rye and triticale genotypes fed to growing pigs. *Archives of Animal Nutrition* 74(6): 429–444.
- Sharpley, A. & Moyer, B. 2000. Phosphorus forms in manure and compost and their release during simulated rainfall. *Journal of Environmental Quality* 29(5):1462–1469. <https://doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900050012x>
- Stein, H., Boesma, M. & Pedersen, C. 2006. Apparent and true total tract digestibility of phosphorus in field peas (*Pisum Sativum L.*) by growing pigs. *Canadian Journal of Animal Science* 86: 523–525.

- Stein, H., Lagos, L. & Casas, G. 2016. Nutritional value of feed ingredients of plant origin fed to pigs. *Animal Feed Science and Technology* 218: 33–69.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.003>
- Van Kleef, D., Deuring, K. & van Leeuwen, P. 1994. A new method of faeces collection in the pig. *Laboratory Animals* 28(1): 78–79.
- Widyaratne, G. & Zijlstra, R. 2007. Nutritional value of wheat and corn distiller's dried grain with solubles: Digestibility and digestible contents of energy, amino acids and phosphorus, nutrient excretion, and growth performance of grower-finisher pigs. *Canadian Journal of Animal Science* 87: 103–114.
- Wienhold, B. & Miller, P. 2004. Phosphorus fractionation in manure from swine fed traditional and low-phytate corn diets. *Journal of Environmental Quality* 33(1): 389–393.  
<https://doi.org/10.2134/jeq2004.3890>
- Ylivainio, K., Lehti, A., Sarvi, M. & Turtola, E. 2017. Report on P availability according to Hedley fractionation and DGT-method. Report of BONUS PROMISE -project. Deliverable 3.4.
- Zhang, F. & Adeola, O. 2017. Techniques for evaluating digestibility of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in feed ingredients for pigs. *Animal Nutrition* 3: 344–352.  
<https://doi.org/10.1016/j.aninu.2017.06.008>

## 4. Johtopäätökset

Oheisessa kuvassa (Kuva 11) on verrattu hankkeessa saatuja fosforin pitoisuuksia ja hankkeessa määritettyjen fosforin sulavuuskertoimien avulla laskettuja rehuaineiden sulavan fosforin määriä rehutaulukoissa olleisiin fosforin pitoisuus ja rehutaulukoiden sulavuuskertoimien avulla laskettuihin sulavan fosforin määriin. Sulavan fosforin määrä sekä sioille että broilereille on viljoissa ja sioille ohravalkuaisrehussa aiempaa suurempi.



**Kuva 11.** Rehutaulukoissa oleva ja hankkeessa määritetty fosforin pitoisuus, rehutaulukossa olevien ja hankkeessa määritettyjen sulavuuskertoimien avulla laskettu sioille sulavan fosforin pitoisuus ja rehutaulukossa oleva broilereille käyttökelpoisen ja hankkeessa määritettyjen kertoimien avulla laskettu sulavan fosforin pitoisuus (g/kg ka) tutkituissa rehuaineissa.

Hankkeen tulokset tulee saada Rehutaulukoiden päivitysten myötä kaikkien saataville ja tutkimukset laajenemaan koskemaan myös muita, kun hankkeessa käsiteltyjä rehuaineita. Hankkeessa saatu tieto tulee saada kytkettyä erityslaskentaan ja siihen sidoksissa oleviin ympäristölaskentoihin. Em. toimenpiteiden avulla saadaan hankkeessa saatu tieto hyödyttämään sekä tuottajia, että lainsäätäjiä, unohtamatta vaikutusta eläimiin, tuotantoon, hyvinvointiin ja ympäristöön.

Lisätieto eri rehuaineiden ympäristövaikutuksista eläintuotannon kautta on tarpeen. Tämä hanke toi vaan pienen ”vihjauksen” siitä, minkälaisia ympäristövaikutuseroja on eri rehuaineiden epäselvien kivennäispitoisuuksien sekä sulavuuksien käytöstä tuotantoeläintemme ruokinnan optimoinnissa. Kun saadut pitoisuus ja sulavuus arvot saadaan mukaan ruokinnan suunnitteluun, ympäristövaikutusten arviointi on tehtävä uudelleen.

Tulevaisuudessa rehutaulukon rehutietojen ja ruokintasuositusten päivitys sikojen ja siipikarjan osalta (pitoisuudet ja sulavuudet, tarve) vaativat useita tutkimuksia. Haasteena on rahoituksen saaminen ja kotimaisen tutkimuksen kapasiteetti tulosten toimivuuden varmistamiseksi kotimaisella eläinaineksella, rehuaineilla ja olosuhteissa. Esimerkiksi palkokasvien rehuarvojen tulosten varmistaminen vaatii lisää kotimaisia tutkimuksia.



**Löydät meidät  
verkosta**

**luke.fi**



Luonnonvarakeskus (Luke) Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki