

MTT RAPORTTI 149

Ruokintastrategiat fosforin ja typen määrän vähentämiseksi sikojen lannassa

Maija Karhapää, Tiina Kortelainen ja Hanne Damgaard Poulsen



Ruokintastrategiat fosforin ja typen määrän vähentämiseksi sikojen lannassa

Maija Karhapää, Tiina Kortelainen ja Hanne Damgaard

Baltic Manure (The Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management) -hankkeen strateginen tavoite oli muuttaa käsitys lannasta jätteestä raaka-aineeksi. Itämeren alueen maatalous on intensiivistä ja käyttää merkittävästi uusiutumaton energiaa ja fosforia sekä epäorgaanista tyyppiä, jonka tuotannon energiankulutus on korkea. Samalla kotieläintuotannon lantaa pidetään ympäristöhaittana. Baltic MANURE on EU:n Itämeristrategian (2009) lippulaivahanke. Siihen osallistui 18 partneria MTT:n vetämänä mm. Tanskasta, Ruotsista, Saksasta, Puolasta, Virosta, Latviasta ja Liettuasta. Tähän raporttiin on koottu tietoja Baltic Manure -hankkeen työpaketin 3 (WP 3), Eläinten ruokintaan, eläinsuojiiin, lannan käsittelyyn, prosessointiin, varastointiin ja levitykseen liittyvä innovatiivinen tekniikka, tuloksista.



ISBN: 978-952-487-544-8

ISSN 1798-6419

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-487-544-8>

<http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Maija Karhapää ja Tiina Kortelainen, Hanne Damgaard Poulsen

Julkaisija ja kustantaja: MTT Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2014

Kannen kuva: Maija Karhapää

Ruokintastrategiat fosforin ja typen määrän vähentämiseksi sikojen lannassa

Maija Karhapää¹⁾, Tiina Kortelainen¹⁾ ja Hanne Damgaard Poulsen

¹⁾MTT, Kotieläintuotannon tutkimus, 1300 Vantaa, Finland, etunimi.sukunimi@mtt.fi,

²⁾Aarhusin yliopisto, Tanska, hdp@agrsci.dk

Tiivistelmä

Fosfori ja typpi (valkuainen ja aminohapot) ovat samaan aikaan sekä ympäristöä rehevöittäviä ravinteita että välttämättömiä ravintoaineita eläimille. Nämä molemmat tekijät pitää ottaa huomioon, jotta löydetään ”kultainen keskitie” niin, ettei ympäristöpäästöjen vähentäminen huonontaisi kotieläinten tuotantoa, terveyttä tai hyvinvointia. Siksi fosforin ja typen hyödyntämistä olisi tarkasteltava kokonaisvaltaisesti. Tässä raportissa esitellään sikojen ruokintamenetelmiä ja strategioita, joiden avulla rehun sisältämien ravintoainesten hyödyntäminen tehostuu ja typen ja fosforin määrä lannassa vähenee.

Kotieläinten lukumäärän ja tuottavuuden kasvu Itämeren alueella on viime vuosikymmeninä lisännyt erityisesti valkuaisrehuaineiden tuontia muista maanosista. Eläinten rehuihin tuodaan myös louhittuja fosfaatteja varmistamaan kotieläinten terveyttä ja tuottavuutta. Fosfaattien käyttö rehuissa on johtanut lannan ravinnepitoisuuden kasvamiseen. Intensiivisillä karjankasvatusalueilla maaperään on rikastunut enemmän ravinteita kuin mitä kasvit tarvitsevat kasvaakseen. Huoli vesistöjen rehevöitymisestä on tehostanut tuotantoeläinten rehussa saamien ravinteiden hyödyntämistä, jolloin lannan fosforin ja typen määrää on saatu vähennettyä.

Baltic Manure -hankkeen eläinten ruokintaa koskeva osuus (WP 3) käsittelee tuotantoeläinten ruokintastrategioita, joilla voidaan vähentää lannan sisältämien ravinteiden määrää. Rehun ravintoaineiden tehokkaampi käyttö kotieläintuotannossa edellyttää täsmällisiä tietoja rehuaineiden ravinnepitoisuuksista ja laadusta, esim. valkuaisrehun aminohappoprofiilista tai rehuaineiden fytaattifosforipitoisuudesta tai fytaasin aktiivisuudesta. Raportissa käsitellään rehuaineen fytaattifosforipitoisuuden ja fytaasiaktiivisuuden merkitystä fosforin sulavuuteen ja mallinnetaan fosfaatin imeytymistä ruoansulatuskanavassa. Fytaasin avulla fytaattifosforista saadaan sulavaa fosfaattia, jolloin rehufosfaattien tarve vähenee ja erityis vähenee.

Raportissa esitellään ruokintastrategioita ja keinoja, joiden avulla tuontivalkuaisen kuten esim. soijan määrää voidaan vähentää. Rehun raakavalkuainen voidaan korvata teollisesti tuotetuilla puhtailla aminohapoilla, joita ovat lysyiini, metioniini, treoniini ja tryptofaani. Fytaasientsyymien (luontainen tai mikrobi-valmisteinen) avulla eläin voi hyödyntää myös kasvien fytiinihappoon sidottua fosforia (fytaattifosforia), jolloin tarve käyttää rehufosfaattia vähenee. Eläinten ruokintaa voidaan tarkentaa käyttämällä vaiheruokintaa, jossa eläimen rehu vastaa mahdollisimman tarkasti eläimen ravitsemuksellisia tarpeita kussakin tuotanto- tai kasvuvaiheessa, jolloin ympäristöpäästöt vähenevät. Viime aikoina nopeasti yleistynyt liemi-ruokinta on todettu tehokkaaksi keinoksi parantaa kasvifosforin ja ilmeisesti myös valkuaisen sulavuutta.

Tähän raporttiin on koottu Baltic manure -hankkeen kansainvälisen raportin sisältämiä tietoja fosfori- ja typpipäästöjen vähentämismahdollisuuksista sikojen ruokinnassa. Lisäksi suurimmilta suomalaisilta rehu-toimijoilta on kerätty arvioita mm. vaiheruokinnan ja liemiruokinnan yleisyydestä sekä fytaasin ja rehufosfaattien käytöstä.

Avainsanat:

Sikojen ruokinta, typpi, valkuainen, aminohapot, fosfori, fytaasi, lanta

Feeding Strategies for Reducing P and N Content in Pig Manure

Maija Karhapää¹ ja Tiina Kortelainen¹ ja Hanne Damgaard Poulsen²

¹MTT Agrifood Research Finland, Animal Production Research, FI-1300 Vantaa, Finland, firstname.lastname@mtt.fi,

²Aarhus University, Department of Animal Science, hdp@agrsci.dk

Abstract

Phosphorus and nitrogen (as protein and amino acids) are, at the same time, both environmental factors and essential nutrients, yet, an adequate supply of phosphorus, protein, and amino acids is important to ensure production and health of livestock. As such, a balanced approach taking both the animals' requirement and the environment into consideration is required so that improvements in the environment do not result in poor health and production in the farm animals and vice versa.

The increase in number and productivity of farm animals in the Baltic Sea Region has for decades increased the demand for import of feedstuff, especially protein sources from other continents. Furthermore, mined phosphates are introduced into the livestock sector to ensure health and productivity. This use of phosphates in feeds has resulted in an increase in manure nutrient content, and in animal dense area, it has led to a soil nutrient content that is above crop demand. However, increased focus on the environment, specifically on the aquatic environment has been one of the main driving forces for improvements in nutrient utilization and derived reductions in excretions of phosphorus and nitrogen in farm animals.

The work in the Baltic Manure project on feeding has focused on the potential for future reductions in the excretion of nutrients through improved feeding strategies. A more efficient use of feed nutrients in livestock farming demands specific knowledge on nutrient concentration and quality expressed as e.g. the amino acid profile of the protein in feedstuffs. Regarding phosphorus, focus is on the phytate phosphorus content of plant feedstuffs and the presence and activity of the enzyme phytase that stimulates the degradation of phytate rendering phosphate available for absorption in the gastrointestinal tract of livestock. When phytate is degraded releasing phosphate to be absorbed, the need for imported feed phosphates is lowered. Overall, this results in improved utilization and reduced excretion of phosphorus.

Improved feeding strategies are presented and tools are given aimed to decrease the need for imported feedstuffs like soybean meal. Dietary crude protein can be replaced by industrially produced amino acids like lysine, methionine, threonine, and tryptophan which results in a lowered inclusion rate of e.g. soybean meal. At the same time, the increased use of microbial and plant phytase can diminish the need for feed phosphates. More precise feeding strategies like phase feeding are important tools and recently, liquid feeding has been established to be valuable to increase the digestibility of phosphorus and to some extent also protein by initiating the digestive processes previous to consumption by the animals.

This report contains information of the pig feeding strategies from the Baltic Manure report and in addition there is national information from pig feeding which has been gathered by asking some Finnish pig feed producers opinions about, for example, the prevalence of phase feeding or liquid feeding or the use of phytase or feed phosphates.

Keywords:

Pig feeding, nitrogen, protein, amino acids, phosphorus, phytase, manure

Sisällysluettelo

1 Johdanto	6
2 Sikatalous Suomessa	7
3 Välttämättömät ravintoaineet ympäristöhaittana.....	9
4 Fosfori	10
4.1 Rehuaineiden fosfori ja fytaasi.....	10
4.2 Fosforin sulavuus	12
4.3 Fosforin ruokintasuositukset ja rehufosfaatin tarve	13
4.4 Fytaasin tehokkuuteen vaikuttavat tekijät	14
4.5 Mikrobifytaasin vaikutuksen arvioiminen	16
4.6 Fytaasin käyttö rehuissa	18
5 Valkuainen ja aminohapot.....	19
5.1 Valkuaisen ja aminohappojen sulavuus	19
5.2 Valkuaisen ja aminohappojen ruokintasuositukset	19
6 Sikojen ruokinta	22
6.1 Rehuarvojärjestelmä.....	22
6.2 EvaPig-ohjelma	22
6.3 Rehuoptimointi ja vaiheruokinta.....	24
6.4 Ruokintamuodot.....	25
6.4.1 Liemiruokinta parantaa sulavuutta.....	27
6.5 Rehuhyötysuhde.....	28
7 Lannan ravinnepitoisuus.....	29
7.1 Ruokinnan ravinnetase	30
8 Yhteenveto	31
9 Kirjallisuus	33

1 Johdanto

Baltic Manure (The Baltic Forum for Innovative Technologies for Sustainable Manure Management) -hankkeen strateginen tavoite oli muuttaa käsitys lannasta jätteestä raaka-aineeksi. Itämeren alueen maatalous on intensiivistä ja käyttää merkittävästi uusiutumattomia energiaa ja fosforia sekä epäorgaanista typpeä, jonka tuotannon energiankulutus on korkea. Samalla kotieläintuotannon lantaa pidetään ympäristöhaitana. Baltic Manure on EU:n Itämeristrategian (2009) lippulaivahanke. Siihen osallistui 18 partneria MTT:n vetämänä mm. Tanskasta, Ruotsista, Saksasta, Puolasta, Virosta, Latviasta ja Liettuasta. Tähän raporttiin on koottu tieto- ja hankkeen työpaketin 3 (WP 3), Eläinten ruokintaan, eläinsuojiin, lannan käsittelyyn, prosessointiin, varastointiin ja levitykseen liittyvä innovatiivinen tekniikka, kuuluvasta osiosta ja siihen liittyvästä raportista (Poulsen ym. 2013a).

Kotieläinten tuotantovaatimusten nousu Itämeren alueella on usean vuosikymmenen ajan lisännyt rehuaineiden, erityisesti soijan, tuontia muilta mantereilta. Myös louhittuja rehufosfaatteja käytetään eläinten rehuissa. Nämä ovat aiheuttaneet lannan ravinnepitoisuuden nousua. Tämä on monilla eläintehillä alueilla johtanut ravinteiden rikastumiseen maaperässä, niin että niiden määrä ylittää kasvien ravinnetarpeen. Erityisesti vesiympäristön rehevöityminen on kiinnittänyt huomion ympäristön suojeluun. Kotieläinten rehun ravintoaineiden hyväksikäyttöä on parannettava, jotta lannan ravinnepitoisuutta (fosfori ja typpi) saadaan alennettua.

Tässä raportissa käsitellään sikojen ruokinnan keinoja, joilla voidaan tehostaa ravintoaineiden hyväksikäyttöä ja vähentää typen ja fosforin erittymistä lantaan. Tällöin myös lannan ominaisuudet esim. kuiva-aine, typpi- ja fosforipitoisuus ja orgaanisen aineen määrä muuttuvat. Lannan ravinteiden tehokas käyttö kasvinviljelyssä vaatii tietoa lannan sisältämien ravinteiden määristä ja tekijöistä, jotka vaikuttavat niihin. Lannan ravinteiden entistä tehokkaampi käyttö kasvien lannoituksessa on myös ympäristön kannalta edullista. Siksi on ratkaisevan tärkeää, että tuottajat omaksuvat tehokkaita toimintatapoja ja työkaluja, joiden avulla kotieläintuotannon ympäristöpäästöt voidaan minimoida.

Kotieläinten lannantuotantoa ja lannan ravinnesisältöä voidaan tarkastella panos-tuotos -periaatteella. Panoksena (input) voidaan pitää rehun lisäksi myös kuiviketta, kuten olkea ja tuotoksena (output) tuotettuja tuotteita, kuten maitoa, lihaa, munia jne. ja myös lantaa. Rehun laatu ja määrä sekä tuotannon tehokkuus vaikuttavat tuotetun lannan määrään ja laatuun. Esimerkiksi täysrehulla ruokkiminen voi lisätä tuotannon tehokkuutta, mutta jos rehun hyväksikäyttö on huonoa, ravinteiden määrä lannassa kasvaa. On kuitenkin olemassa monia keinoja, joiden avulla eläinten ruokinta voidaan sovittaa tuotannon tasoon, lisätä ravintoaineiden imeytymistä ja vähentää lantaan päätyvien ravinteiden määrää. Rehun fosforin ja valkuaisen sulavuutta voidaan parantaa myös lisäaineiden avulla.

Sikojen ruokintaa voidaan tarkentaa käyttämällä kaksi- tai monivaiheruokintaa. Siinä sikojen rehun sisältöä muutetaan vaiheittain sikojen ravinnontarpeen mukaan. Tällöin sika saa valkuais- ja kivennäisrehuja vain sen verran kuin se tarvitsee. Ravintoaineiden hyväksikäytön tehostamiseen tarvitaan perus- ja käytännön tietoja eläimen valkuaisen, aminohappojen ja fosforin tarpeesta, jotta tehostaminen ei uhkaa eläinten terveyttä tai hyvinvointia.

Myös kotieläintuotannon rakenteellinen kehitys vaikuttaa siihen, pystyvätkö sikatilalliset hyödyntämään tutkimus- ja kehitystoiminnan tuottamat tulokset ja noudattamaan suosituksia, koska investoinnit, kuten kuiva-ruokintajärjestelmän muuttaminen liemiruokintajärjestelmäksi, vaativat resursseja. Ravintoaineiden hyödyntämisen parantamiseen liittyvät investoinnit tulisi ottaa huomioon aina, kun uusia tuotantorakennuksia rakennetaan tai olemassa olevia rakennuksia remontoidaan.

Sikojen rehun sisältämän typen ja fosforin hyödyntämistä tarkastellessa tarvitaan kokonaisvaltaista lähestymistapaa. Tässä raportissa käsitellään keinoja, joilla typen ja fosforin hyväksikäyttöä sioilla voidaan parantaa ja esteitä, jotka hankaloittavat keinojen hyväksikäyttöä. Raportissa keskitytään fosforin hyväksikäyttöön, koska typen hyväksikäyttöä (valkuainen ja aminohapot) on tutkittu paljon jo aikaisemmin. Fosforin hyväksikäytön parantaminen kotieläintuotannossa on nostettu esiin ympäristöasiana monissa maissa vasta noin kymmenen vuotta sitten.

2 Sikatalous Suomessa

Nykyinen heikko sianlihan tuotannon kannattavuus vähentää sikatilojen määrää Suomessa. Viime vuosina sikatilojen määrä on laskenut tuntuvasti. Sikatilojen lukumäärä on laskenut 227 tilan verran (11,8 %) vuodesta 2011 vuoteen 2012 (taulukko 1).

Taulukko 1. Tilajakauma Suomessa 2008–2012.

	Maidon- tuotanto	Muu nauta- karja	Siat	Siipikarja	Lampaat ja vuohet	Hevoset	Vilja ja muu kas- vintuotanto
Vuosi	Tilojen lukumäärä						
2008	12 455	4 030	2 309	762	782	2 105	43 359
2009	11 896	4 013	2 255	774	791	2 242	42 204
2010	11 256	3 861	2 052	728	764	2 168	41 938
2011	10 597	3 820	1 939	694	743	2 120	41 671
2012	9 781	3 540	1 712	522	685	1 796	41 006
Vuosi	%						
2008	18,93	6,12	3,51	1,16	1,19	3,2	65,89
2009	18,54	6,25	3,51	1,21	1,23	3,49	65,76
2010	17,93	6,15	3,27	1,16	1,22	3,45	66,82
2011	17,21	6,2	3,15	1,13	1,21	3,44	67,67
2012	16,57	6,0	2,90	0,88	1,16	3,04	69,45

Lähde: TIKE, 2013.

Sikojen kokonaismäärä oli vuonna 2013 hieman korkeampi kuin edellisenä vuonna (1,30 miljoonaa). Emakoiden määrä on laskenut viimeisen kuuden vuoden ajan tasaisesti (taulukko 2).

Taulukko 2. Sikojen määrä Suomessa 2008–2013.

	Karjuja ¹ ≥ 50 kg ¹	Emakoita ≥ 50 kg ¹	Lihasioja ≥ 50 kg ¹	Lihasioja 20–50 kg ¹	Porsaita < 20 kg ¹	Sikojen yhteensä
Vuosi	Tuhatta					
2008	3,9	168,6	504,3	354,2	451,7	1 482,8
2009	3,2	152,9	491,9	337,0	396,2	1 381,2
2010	3,1	150,5	487,8	316,2	409,3	1 366,9
2011	3,3	142,7	470,5	326,8	391,8	1 335,1
2012	2,7	133,1	477,1	302,3	375,0	1 290,4
2013	2,3	125,0	489,7	323,9	359,5	1 300,4

¹Elopaino

Lähde TIKE, 2014.

Sikojen teurastusmäärät ja sianlihan tuotanto ovat vähentyneet viimeisen vuoden aikana (2012–2013, taulukko 3). Jotkut tilalliset eivät halua tai pysty tekemään uusia investointeja, joita esimerkiksi uudet hyvinvointisäädökset vaativat, joten he joutuvat lopettamaan sianlihan tuotannon, mikä osaltaan voi vähentää sikatilojen määrää.

Taulukko 3. Sikojen teurasmäärät ja sianlihantuotanto Suomessa huhtikuussa 2014.

Lihantuotanto	Ruhoja kpl	Ruhoainot yhteensä kg	+/- edellinen vuosi %	Ruhoaino kg/kpl	Tuottajahinta €/100 kg	+/- edellinen vuosi %
Emakot	2 980	549 924	-23,3	184,5	76,52	-16,1
Karjut	1 013	94 069	-17,4	92,9	116,15	-7,6
Lihasiat	162 288	14 431 363	-16,6	88,9	161,29	-12,0
Siat yhteensä	166 281	15 075 356	-16,9	90,7	157,76	-12,0

TIKE, 2014.

3 Välttämättömät ravintoaineet ympäristöhaittana

Eläimet saavat rehusta fosforia, valkuaista, muita ravintoaineita ja energiaa. Fosfori on eläimille välttämätön kivennäisaine ja kasveille ravinne. Riittävä fosforin saanti on tärkeä eläinten ja kasvien terveydelle ja takaa tehokkaan tuotannon. Fosfori osallistuu moniin elimistön perustoimintoihin, kuten solujen energia-aineenvaihduntaan (ATP, ADP ja AMP) ja se on tärkeä myös soluseinän rakenteissa ja solunjakaantumissa. Valtaosa, jopa 80 % elimistön fosforivarastoista on luustossa kalsiumfosfaattina, joka vahvistaa luiden rakennetta. Fosforin puute näkyy ensin alentuneena tuottavuutena ja jatkuessaan aiheuttaa luiden heikkenemistä ja katkeilua.

Viime vuosikymmenien ajan on keskitytty siihen, että eläimet saavat rehustaan riittävästi kaikkia välttämättömiä ravintoaineita, kuten fosforia, fysiologisten tarpeiden tyydyttämiseksi. Koska rehuosien sisältämä fosfori (kasvifosfori) sulaa huonosti, eläinten ruokinnassa alettiin käyttää mineraalifosfaattia (rehufosfaatti), jota on käytetty yleisesti usean vuosikymmenen ajan. Tällöin eläimet eivät kärsi fosforin puutteesta, mutta fosforia erittyy lantaan suurina määrinä, koska siat eivät kykene hyödyntämään tehokkaasti rehunaaineiden kasviperäistä fosforia.

Typpi on myös välttämätön sekä kasveille että eläimille. Eläimet tarvitsevat typpeä sisältävää valkuaista ja aminohappoja, kun taas kasvit tarvitsevat ammoniakkia, nitraattia jne. Valkuaisen ja aminohappojen riittävä saanti on valkuaisyynteesin ja siten myös kasvun edellytys. Myös valkuaisen ja välttämättömien aminohappojen puute heikentää tuottavuutta ja terveyttä. Aikaisemmin eläimet saivat aminohappoja vain rehunaaineista. Viljoissa on vähän valkuaista ja välttämättömiä aminohappoja, minkä vuoksi tarvitaan valkuaisrehuja, kuten soijaa, rypsiä ym. Nykyisin käytetään tavanomaisen tuotannon rehussa myös tehdasvalmisteisia aminohappoja. Aikaisemmin sikojen piti saada välttämättömät aminohapot rehunaaineista, jolloin raakavalkuaisen määrä rehussa, joka sisälsi riittävästi ensimmäistä rajoittavaa aminohappoa (yleensä lysiini), nousi hyvin korkeaksi. Silloin valkuaisen hyväksikäyttöaste on matala ja ylimääräistä typpeä erittyy lantaan.

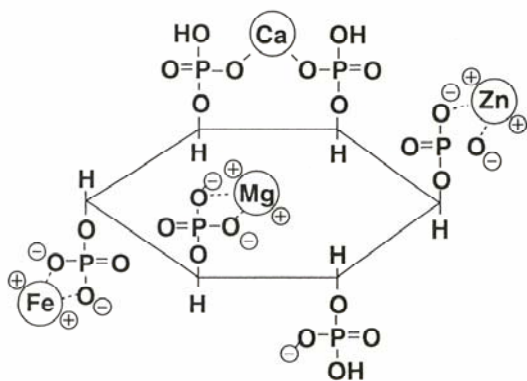
Pelloille rikastunut fosfori ja typpi voivat huuhtoutua tai kulkeutua valumavesien mukana aiheuttaen maa- ja vesiympäristön rehevöitymistä. Viime vuosikymmeninä lisääntynyt rehevöityminen on suunnannut tutkimusta lannan typen ja fosforin määrän vähentämiseen. Tämä edellyttää tasapainoista lähestymistapaa, jossa varmistetaan, että eläimet saavat rehustaan tarvitsemansa ravintoaineet hyvinvoinnin ja tuotoksen takaamiseksi, mutta samalla rehun ravintoaineiden hyväksikäyttö paranee ja typen ja fosforin erityis lantaan vähenee. Eläimille ei pitäisi antaa ravintoaineita yli niiden tarpeen, koska se johtaa ravintoaineiden huonompaan hyväksikäyttöön ja lisää niiden erittymistä lantaan. Sekä rehun koostumuksella että ruokintamenetelmällä voidaan vaikuttaa lannan ravinnepitoisuuteen ja lannan laatuun.

4 Fosfori

Fosfori on kalsiumin jälkeen sian elimistön runsain kivennäisaine, ja noin 80 % siitä on luustossa ja hampaissa kalsiumfosfaattina. Fosforia tarvitaan orgaanisen luuaineen muodostamiseen ja sen mineralisoimiseksi. Se 20 % fosforista, joka ei ole luustossa ja hampaissa on laajasti jakaantunut nesteisiin ja pehmytkudoksiin, joissa sillä on monia tärkeitä tehtäviä. Fosfori on eläimille välttämätön kivennäisaine. Sikojen rehujen optimointiohjelmissa käytetään monissa maissa rehuaineiden fosforipitoisuudelle taulukkoarvoja, vaikka olisi parempi analysoida rehuaineet ja käyttää analysoituja arvoja rehun optimoinnissa. Esimerkiksi viljan fosforipitoisuus voi vaihdella huomattavasti riippuen pellon lannoitustasosta ja kasvukauden sääolosuhteista. Sikojen ruokintasuosituksissa pitäisi olla eri tuotannon vaiheille omat sulavan fosforin suositukset. Tämä olisi tärkeää, jotta vaiheruokinnan potentiaali lannan ravinteiden vähentämisessä tulisi kokonaan hyödynnetyksi.

4.1 Rehuaineiden fosfori ja fytaasi

Sikojen ruokinta perustuu pääosin viljoihin ja kasviperäisiin valkuaislähteisiin (soija, rypsi, herne, pavut ja lupiini). Nämä kasviperäiset rehuaineet sisältävät paljon fosforia, mutta se on suurimmaksi osaksi (jopa 80 %) sitoutuneena fytiinihappoon, joka on fosforin pääasiallinen varastomuoto siemenissä. Fytiinihapossa on inositolirengas, johon on liittynyt fosfaattiryhmiä (kuva 1).



Kuva 1. Kuusi fosfaattiryhmää sisältävä fytiinihappomolekyyl (inositolifosfaatti).

Kasveissa fytiinihappoa esiintyy myös sen suoloina, fytaatteina. Fytiinihappo voi sitoa itseensä fosforin ohella myös valkuaista, aminohappoja ja muita kivennäisaineita kuten kalsiumia, magnesiumia, kuparia, rautaa, mangaania ja sinkkiä, jolloin niiden sulavuus huononee. Yksimahaisten eläinten ruoansulatusentsyymit eivät juuri pysty pilkkomaan fytaattifosforia ja sen sulavuus on siten alhainen. Fytaaasientsyymi pystyy vapauttamaan fytiinihappoon sitoutuneen fosforin ja tekemään sen käyttökelpoiseksi yksimahaiselle eläimelle. Jotta sikojen fosforintarve saadaan täytetyksi, sianrehuihin lisätään rehufosfaattia (mineraalifosfaattia).

Taulukoissa 4 ja 5 on esitetty rehuaineiden keskimääräisiä fosforipitoisuuksia ja fytiinihapon prosentuaalinen osuus virolaisen rehu-taulukon (Estonian tables of chemical composition and feeding values of feedstuffs, 2004), suomalaisen rehu-taulukon (MTT, 2014) ja suomalaisen tutkimuksen mukaan (Partanen ym. 2010). Fytiinihapon suhteellinen osuus kokonaisfosforista on erilainen eri kasveilla. Suomalaisessa tutkimuksessa on analysoitu myös rehuaineiden luontaisen fytaasin pitoisuudet.

Taulukko 4. Joidenkin viljojen ja valkuaisrehujen keskimääräisiä fosforipitoisuuksia virolaisen ja suomalaisen rehutaulukon mukaan (Estonian tables of chemical composition and feeding values of feedstuffs, 2004, MTT, 2014).

Vilja tai puriste	Viro		Suomi
	ka, %	P, g/kg ka	P, g/kg ka
Ohra	86	4,1	4,1
Vehnä	86	3,8	4,5
Kaura	86	3,8	4,0
Maissi	86	3,1	3,1
Rypsipuriste	90	10,5	11,7
Soijapuriste	88	7,3	6,1

Taulukko 5. Rehuaineiden kokonaisfosfori % ja fytaattifosforin osuus kokonaisfosforista (%) virolaisen rehutaulukon ja suomalaisen tutkimuksen mukaan (Estonian tables of chemical composition and feeding values of feedstuffs, 2004, Partanen ym. 2010).

Rehuaine	Viro		Suomi		
	P (g/kg KA)	Fytaatti-P/ Kokonais-P	P (g/kg KA)	Fytaatti-P/ Kokonais-P	Luontainen fytaasi (U ¹ /kg KA)
Maissi	2,8	0,68			
Vehnä	3,3	0,67	3,7	0,84	786
Ohra	3,7	0,59	3,4	0,79	587
Kaura			3,4	0,83	16
Ruisvehnä	3,7	0,68			
Ruis	3,6	0,61			
Durra	2,7	0,70			
Vehnän lese	11,6	0,84			
Riisin lese	17,1	0,64			
Soijarouhe	6,1	0,52	6,4	0,74	48
Maapähkinärouhe	6,8	0,47			
Rypsin siemen			7,0	0,95	18
Rypsipuriste			11,3	0,81	12
Rypsirouhe	11,2	0,36	11,0	0,81	38
Auringonkukan siemen rouhe	10,0	0,44			
Härkäpapu			5,7	0,80	7
Herne	3,8	0,45	3,9	0,72	0

¹U on entsyymimäärä, joka vapauttaa 0,0051 mol/L natriumfytaatista 1 mikromoolin epäorgaanista fosfaattia minuutissa (pH 5,5 ja 37 °C).

Fytiinihappoon sidotun fosforin sulavuutta voidaan parantaa fytaasientsyymien avulla. Luontaisesti fytaasientsyymiä on esim. viljoissa ja siemenissä. Luontaisen fytaasin aktiivisuus eri rehuaineissa kuitenkin vaihtelee (ks. taulukot 5 ja 6), mikä vaikuttaa fosforin sulavuuteen rehuseoksessa. Viljoilla korkein fytaasiaktiivisuus on rukiilla, kun taas maissilla ja kauralla fytaasiaktiivisuutta ei ole juuri ollenkaan (Eckhout & de Paepe, 1994, Partanen ym. 2010). Tämän lisäksi viljojen eri lajikkeiden välillä voi olla eroa fytaasiaktiivisuudessa, mikä voi vaikeuttaa fytaasin vaikutuksen arviointia. Luontainen fytaasi vähenee varastoitaessa ja tuhoutuu helposti lämpökäsittelyssä. Joissain valkuaislähteissä, kuten soija- tai rypsirouheessa ei ole fytaasiaktiivisuutta lainkaan, koska monet käsittelyprosessit, kuten öljyn uuttaminen, tuhoavat fytaasientsyymien. Viljojen lämpökäsittelyn (yli 50–60 °C) tiedetään poistavan fytaasiaktiivisuuden joko osittain tai kokonaan. Tämä vaikuttaa fytaattifosforin sulavuuteen ja hyväksikäyttöön.

Taulukko 6. Rehuaineiden fosforipitoisuus ja fytaatti-fosforipitoisuus sekä fytaasiaktiivisuus (Eeckhout & de Paepe, 1994)

Rehuaine ¹	g P/kg	g fytaatti-P/kg	Fytaatti-P/ Kokonais-P	Fytaasi, FTU/kg ²	(vaihteluväli)
Vehnä	3,3	2,2	0,67	1193	(915–1581)
Ohra	3,7	2,2	0,60	582	(408–882)
Ruisvehnä	3,7	2,5	0,67	1688	(1475–2039)
Ruis	3,6	2,2	0,61	5130	(4132–6127)
Kaura	3,6	2,1	0,59	42	(0–108)
Maissi	2,8	1,9	0,68	15	(0–46)
Vehnänlese	11,6	9,7	0,84	2957	(1180–5208)
Soijarouhe	6,6	3,5	0,53	40	(0–120)
Rypsirouhe	11,2	4,0	0,36	16	(0–36)

¹Viljoja ei ole lämpökäsitelty.

²1 FTU on entsyymimäärä, joka vapauttaa 0,0051 mol/L natriumfytaatista 1 mikromoolin epäorgaanista fosfaattia minuutissa (pH 5,5 ja 37 °C).

Koska rehuaineiden fosforipitoisuus, fytaattifosforin osuus ja fytaasipitoisuus vaihtelevat suuresti, olisi tärkeää, että rehuaineita analysoitaisiin sekä paikallisesti että alueellisesti (taulukot 9–11). Rehuaineiden fosforipitoisuus, sulavan fosforin määrä ja fytaasiaktiivisuus pitää olla tiedossa, jotta rehun optimointi onnistuu siten, että se täyttää eläimen ravitsemukselliset tarpeet, mutta samalla vältetään fosforin ylikinointa. Fosforin puutos huonontaa tuotosta ja aiheuttaa terveysongelmia (Poulsen ym. 2013a).

On myös todettu, että rehuaineiden ja valmiiden rehujen, sonnan, virtsan jne. kemiallisien analyysien tuloksissa voi olla suuria eroja, riippuen siitä, mitä menetelmää ja laboratoriota analyysissä on käytetty (Hansen-Møller ym. 2007). Tämä voi johtaa siihen, että analyysitulokset eivät ole keskenään vertailukelpoisia. Näkökohta tulisi huomioida kansallisesti ja kansainvälisesti, sillä se voi johtaa fosforin yli- tai aliruokintaan (Hansen-Møller ym. 2007). Analyysimenetelmien luotettavuuteen liittyvät ongelmat voivat myös johtaa erilaisiin ruokintasuosituksiin eri maissa.

4.2 Fosforin sulavuus

Sian fosforin tarve ilmoitetaan sulavana fosforina, koska vain osa kasviperäisten rehujen fosforista on sialle käyttökelpoista. Ohrassa, kaurassa ja soijarouheessa fosforin sulavuus on 32 %, vehnässä 30 % ja herneessä 47 % (EvaPig®). Sian ravintoaineiden hyväksikäyttö voidaan laskea kun tiedetään rehunsyönti, päiväkasvu, rehun ravintoainesisältö ja elimistöön pidättyvien ravintoaineiden määrä. Emakoilla tarvitaan lisäksi tieto pahnuekoosta ja porsaiden vieroitusiästä (Poulsen ym. 2006). Taulukossa 7 on keskimääräisiä arvoja eri-ikäisten sikojen fosforin ja tyypin hyväksikäytöstä ja erittymisestä lantaan (Poulsen, 2013).

Syy melko alhaiselle fosforin sulavuudelle on se, että fosfori imeytyy ohutsuolen alkupäässä (proksimaalisessa osassa) ja siten fosfaattiryhmien pitäisi vapautua fytiinihaposta ennen tätä ohutsuolen imeytymisaluetta (Blaabjerg ym. 2011). Jos fosfaattiryhmät vapautuvat vasta kauempana ruoansulatuskanavassa, ne eivät voi enää imeytyä ja päätyvät lantaan.

Taulukko 7. Tanskassa kasvatettujen sikojen fosforin saantimääriä ja erittyminen lantaan (Poulsen, 2013).

	1 lihasika 32–107 kg (elopaino)	1 välikasvatus porsas 7,2–32 kg (elopaino)	1 emakko porsaineen /vuosi
Fosfori			
Saanti, kg	1,03	0,26	7,39
Imeytyminen, kg	0,41	0,12	1,82
Eritys, kg	0,62	0,14	5,57
Hyväksikäyttö, %	40	47	25

Toinen fytiinihapon purkamista hidastava tekijä on, että kynnys ensimmäisen fosfaattiryhmän vapauttamiseen on suuri. Jos tämä onnistuu, muut fosfaattiryhmät irtoavat helpommin (Blaabjerg ym. 2010, 2011). Nämä havainnot ovat tärkeitä, jotta voidaan parantaa kasvifosforin hyväksikäyttöä erityisesti kivi- ja maanvaruokinnassa ja kehittää uusia ruokintatapoja, jotka parantavat fosforin hyväksikäyttöastetta. Fosforin imeytymisen yhteydessä on huomioitava myös kalsium, koska toisen ylimäärä häiritsee fosforin imeytymistä.

4.3 Fosforin ruokintasuositukset ja rehufosfaatin tarve

Sikojen fosforin suositukset perustuvat kokeellisesti määritetyn fosforin tarpeeseen, mutta mukana on myös turvamarginaali, joka ottaa huomioon käytännössä esiintyvät poikkeamat. Tarve luiden riittävän lujuuden turvaamiseksi on suurempi kuin tarve hyvään tuotokseen. Aiemmin suositukset perustuivat kokonaisfosforin saantiin, mutta 1990-luvulta lähtien suositukset ovat useimmissa maissa muuttuneet sulavan fosforin saannin suosituksiksi. Viime vuosikymmeniin asti sikojen rehun fosforin suositusten turvamarginaali on ollut tiedon puutteen vuoksi laaja. Nykyisin rehujen koostumus ja sulavuus on tarkemmin määritelty rehuoptimointiohjelmissa, joten turvamarginaalia on voitu pienentää. Tällä hetkellä Tanskassa voimassa olevat sikojen fosforin ja kalsiumin saantisuositukset on esitetty taulukossa 8 ja suomalaiset saantisuositukset taulukossa 9 (Tybirk ym. 2013, MTT 2014). Suomalaisten sikojen ruokintasuositusten mukaan kalsiumin ja sulavan fosforin suhde voi vaihdella 2,5–3,1 välillä. Jos rehuun on lisätty fytaasientsyymiä, rehun kalsiumpitoisuutta tulisi laskea 0,05 g/MJ NE (MTT 2014). Tanskalaisten suositusten mukaan kalsiumpitoisuutta tulisi laskea 0,5 g/tanskalainen rehuyksikkö, jos rehuun on lisätty fytaasia (FUs, Tybirk ym. 2013).

Taulukko 8. Tanskalaiset sikojen fosforin (P) ja kalsiumin (Ca) ruokintasuositukset (Tybirk ym. 2013).

	Sulava P, g/FUs	Ca, g/FUs	Kokonais-P/kg ¹	
			Fytaasi 500 FTU/FUs ²	Fytaasi 1000 FTU/FUs ²
Emakot:				
Tiine	2,0	6,5	3,8	3,4
Imettävä	2,7	7,5	4,8	4,4
Porsaas:				
9–30 kg	3,1	8,0	5,2	4,9
Lihasiat:				
30–45 kg	2,6	7,0	4,4	4,1
45–105 kg	2,4	6,5	4,4	4,1

¹Vain suositeltu taso. Optimointiohjelmat perustuvat sulavaan fosforiin.

²Tanskalainen kasvavien sikojen rehuyksikkö FUs_v = 7,38 MJ fysiologista energiaa, Emakoiden rehuyksikkö FUs_o = 7,70 MJ fysiologista energiaa.

Taulukko 9. Suomalaiset sikojen fosforin (P) ja kalsiumin (Ca) ruokintasuositukset (MTT 2014).

	Sulava P, g/MJ	Ca, g/MJ
Emakot:		
Tiine	0,28	0,77
Imettävä	0,34	0,86
Porsaas:		
< 20 kg	0,31	0,88
Lihasiat:		
20–55 kg	0,31	0,84
55–80 kg	0,28	0,76
80–120 kg	0,22	0,67

Taulukossa 10 on esitetty Raisioagro Oy:n suosituimman lihasikojen täysrehun ja täydennysrehun tuoteseloste. Molemmat sisältävät fytaasia (500 ja 3500 FTU/kg) ja epäorgaanisen fosforin lähteenä on käytetty monokalsiumfosfaattia (MCP). Täydennysrehun käyttösuositus lihasioille alkukasvatuksessa on 18–22 % ja loppukasvatuksessa 13–16 % energiasta.

Taulukko 10. Raisioagro Oy:n suosituimman lihasikojen täysrehun ja täydennysrehun tuoteselosteet.

	Täysrehu	Täydennysrehu	
Kosteus	12,5	11,0	%
Raakavalkuainen	17,0	35,5	%
Rasva	4,4	3,3	%
Raakakuitu	4,3	5,5	%
Tuhka	5,5	19,0	%
Lysiini	1,1	3,5	%
Metioniini	0,4	0,8	%
Natrium	0,2	1,0	%
Kalsium	0,75	4,0	%
Fosfori	0,55	1,2	%
Rehuyksikkö	1,04	0,75	
Fytaasi	500	3500	FTU
Orgaanisten happojen seos	3		g/kg

Taulukko 11. Sikojen rehussa käytettyjen rehufosfaattien fosforin sulavuudelle on saatu erilaisia sulavuusarvoja eri tutkimuksissa (Poulsen, 2007).

Rehufosfaatti	Pitoisuus, %		Fosforin sulavuus, %
	P	Ca	
Monokalsiumfosfaatti	13–19	17–19	71–75
Monokalsiumfosfaatti	17–23	17–22	65–68
Monokalsiumfosfaatti	20	15	64
Mononatriumfosfaatti	24	0	79–80
Monodikalsiumfosfaatti	21	20	72
Dikalsiumfosfaatti	17–18	23–25	51–53
Dikalsiumfosfaatti	19	25	59
Kalsiumnatriumfosfaatti	18	31	50

Kasviperäisen fosforin huonon sulavuuden vuoksi sikojen rehuissa käytetään rehufosfaattia täydentämään sikojen fosforintarvetta. Rehufosfaattien sulavuus vaihtelee 50–80 % välillä (taulukko 11, Poulsen, 2007). Sikojen ruokintakokeissa on saatu erilaisia sulavuuksia myös samalle rehufosfaatille, jonka vuoksi Tanskassa käytetään esim. monokalsiumfosfaatille (MCP) fosforin sulavuutena keskiarvoa 67 %. MCP ja dikalsiumfosfaatti (DCP) ovat tavallisia epäorgaanisen fosforin lähteitä suomalaisessa rehuteollisuudessa. Suomalaisessa rehutaulukossa monokalsiumfosfaatin sulavuus on 83 % ja dikalsiumfosfaatin sulavuus on 66 % (EvaPig®-ohjelma).

Rehufosfaattien käyttö on Tanskassa vähentynyt jyrkästi viimeisen kymmenen vuoden aikana. Vielä vuonna 2000 kotieläintuotannossa käytettiin Tanskassa fosforia noin 17 000 tonnia vuodessa (puhdasta fosforia), mutta vuonna 2011 sen käyttö oli laskenut jo noin 11–12 000 tonniin vuodessa. Kehitykseen on vaikuttanut fosfaattivero, joka tuli voimaan 2004, joka kannustaa tuottajia ja rehuvalmistajia korvaamaan rehufosfaattia fytaasivalmisteilla (Poulsen ym. 2013a).

4.4 Fytaasin tehokkuuteen vaikuttavat tekijät

Fosforin sulavuutta voidaan parantaa lisäämällä rehuun tehdasvalmisteista fytaasientsyymiä, joka lisää fosforin käyttökelpoisuutta kasviperäisissä rehuaineissa. Ensimmäinen kaupallinen fytaasivalmiste tuli markkinoille 1990-luvulla. Sen jälkeen on kehitetty erilaisia uusia mikrobifytaasivalmisteita, jotka ovat

nyt käytettävissä sikojen ruokinnassa. Mikrobifytaasin tehokkuutta erilaisissa olosuhteissa ja erilaisilla rehuaineilla (eri eläinlajit, rehun koostumus ja prosessointi, ruokintatapa, luontaisen fytaasin määrä jne.) on tutkittu paljon. Kokeiden tulokset ovat vaihdelleet, mikä on voinut aiheuttaa virhearvioita ja ongelmia, kun näitä tuloksia on sovellettu käytäntöön. Nykyisin mikrobifytaasia käytetään laajasti tavanomaisessa sikojen ja siipikarjan rehussa. Mikrobifytaasia voitaisiin monissa tapauksissa käyttää vieläkin tehokkaammin parantamaan rehun sisältämän fytiinifosforin käyttöastetta, jolloin fosforin erityis lantaan vähenisi entisestään (Poulsen ym. 2013a).

Taulukko 12. Sikojen ruokintakokeissa käytetyt fytaasivalmisteet ja niistä julkaistut artikkelit vuosina 1991–2012 (Henriksen ym. 2013).

Fytaasivalmiste ^a	Hyväksyntävuosi	Fytaasityyppi	Artikkelit, kpl ^b
Sieniperäinen:			178
Allzyme	1998	Ei tiedossa	13
Finase	1998	3-fytaasi	20
Ronozyme	2007	6-fytaasi	16
Natuphos	2007	3-fytaasi	113
Bakteeriperäinen:			46
Optiphos	2005	6-fytaasi	19
Phyzyme	2007	6-fytaasi	10
Quantum-Q1	2008	6-fytaasi	8

^aLähteet: www.eur-lex.europa.eu, www.alltech.com ja www.novonordisk.com (Poulsen ym. 2013a mukaan). ^bFytaasien ruokintakokeista kirjoitettujen tieteellisten artikkelien määrä.

Henriksenin ym. (2013) kirjallisuuskatsauksessa on tuloksia fytaasin tehokkuudesta ruokintakokeista, joissa on käytetty kuivaruokintaa. Ensimmäiset kaupalliset fytaasit olivat sienten avulla tuotettuja, mutta myöhemmin on käytetty myös bakteereja fytaasin valmistamiseen. Henriksen ym. 2013 mukaan sieni- ja bakteeriperäisten fytaasien välillä ei ole juurikaan eroja tehokkuudessa. Molemmilla fytaasityypeillä fosforin sulavuus rehuseoksessa oli fytaasilisäyksen jälkeen noin 50 % (Henriksen ym. (2013). Taulukossa 12 näkyvät tutkimuksissa käytetyt mikrobifytaasivalmisteet, valmisteen hyväksymisvuosi ja luokittelu sekä tarkastelussa mukana olleiden julkaistujen artikkelien määrä. Fytaasit on luokiteltu sen mukaan, ovatko ne sieni- vai bakteeriperäisiä ja mistä kohdasta fytiinihapon inositolirengasta fosfaattiryhmien pilkkoutuminen alkaa.

On tärkeää, että samaan aikaan, kun pyritään mikrobifytaasin avulla tehostamaan kasvifosforin hyväksikäyttöä, vähennetään rehufosfaatin määrää rehussa. Jos sikojen ruokinnassa käytetään rehufosfaattia, mikrobifytaasin vaikutus on pienempi kuin silloin, kun rehussa ei käytetä rehufosfaattia. Mikrobifytaasin kyky purkaa fytiinihappoon sidottua fosforia heikkenee 10–40 % riippuen fytaasiannoksesta. Rehufosfaatin vaikutus fytaasin toimintaan on suurin alhaisella fytaasiannoksella (Henriksen ym. 2013).

Luontainen fytaasi (esim. vehnässä, ohrassa jne.) tuhoutuu lämpökäsittelyn aikana. Suomessa lähes kaikki viljat kuivataan lämminilmakuivurilla, jolloin on mahdollista, että luontaista fytaasiaktiivisuutta ei juuri ole jäljellä kuivaamisen jälkeen. Kaupalliset rehut on prosessoinnin aikana lämpökäsitelty, jolloin luontainen fytaasiaktiivisuus häviää. Jos vilja kuivataan kylmäilmakuivurilla ja rehu tehdään tilalla rakeistamatta, luontainen fytaasi säilyy aktiivisena. Henriksen ym. (2013) ovat kehittäneet mikrobifytaasin vaikutusta ennustavat yhtälöt, jotka perustuvat kirjallisuuskatsauksessa mukana olleisiin ruokintakokeiden tuloksiin. Taulukko 13 osoittaa, kuinka mikrobifytaasin teho on annoksesta riippuvainen (Henriksen ym. 2013). Yleisperiaatteena voidaan sanoa, että mitä pienempi fytaasiannos, sitä suurempi vaikutus sillä on sulavan fosforin määrään. Lämpökäsitellyille ja prosessoimattomalle rehuseokselle on omat kaavansa. Näitä kaavoja voi käyttää ennustamaan mikrobifytaasi annoksen vaikutusta (sulavan fosforin määrän lisäksi) sikojen rehuissa (Henriksen ym. 2013). Fytaasilisän vaikutusta voi arvioida myös EvaPig®-ohjelmalla (ks. kappale 7.2).

Taulukko 13. Mikrobifytaasiannoksen (FTU/kg rehua) odotettavissa oleva vaikutus sulavan fosforipitoisuuden määrään (g/kg ka) ei-lämpökäsitellylle ja lämpökäsitellylle rehulle (Henriksen ym. 2013).

	Mikrobifytaasi, FTU/kg rehua			
	250	500	750	1000
Ei lämpökäsitelty ^a	0,35	0,54	0,65	0,73
Lämpökäsitelty ^b	0,67	0,75	0,80	0,84

^a $y = 0,2745 \times \log_e(x) - 1,1701$, jossa y on ennustettu lisäys sulavan fosforin määrässä (g/kg ka) ja x on mikrobifytaasiannos (FTU/kg rehua), yhtälö on tarkoitettu alle 1000 FTU fytaasiannokselle (FTU/kg rehua).

^b $y = 0,1197 \times \log_e(x) + 0,0103$, jossa y on ennustettu lisäys sulavan fosforin määrässä (g/kg ka) ja x on mikrobifytaasiannos (FTU/kg rehua), yhtälö on tarkoitettu alle 1000 FTU fytaasiannokselle (FTU/kg rehua).

4.5 Mikrobifytaasin vaikutuksen arvioiminen

Mikrobifytaasin teho, eli tieto siitä, kuinka paljon fytaasiannoksella voidaan vähentää rehufosfaattia, on tärkeä edellytys fytaasin turvalliselle käytölle. On vaikeaa saada yleiskuvaa siitä, millaisia korvaussuhteita eri maissa käytetään korvattaessa rehufosfaattia mikrobifytaasilla siten, että fosforin hyväksikäyttö voidaan maksimoida vaarantamatta eläimen tuotostasoa ja terveyttä.

Luontaisen fytaasin määrä vaikuttaa mikrobifytaasin tehoon, joten rehuseoksen viljavalinnalla on merkitystä. Maississa on alhainen luontainen fytaasiaktiivisuus, kun taas vehnässä ja ohrassa on suhteellisen korkea luontaisen fytaasin aktiivisuus. Maissipohjaisissa rehuissa fytaasin avulla saatu sulavan fosforin nettolisäys on yleisesti korkeampi verrattuna vehnä/ohrapohjaisiin rehuihin (Henriksen ym. 2013, taulukko 14). Fosforin kokonaissulavuus maissirehuissa oli kuitenkin hyvin erilainen verrattuna vehnä/ohrarehuihin (47 % vs. 57 %). Nämä tulokset osoittavat, että on tärkeää ottaa huomioon rehuseoksen koostumus arvioitaessa mikrobifytaasilisän tehoa. Taulukossa 14 on esitetty fytaasin korvaussuhteet sioille perustuen Henriksen ym. (2013) tutkimukseen. Taulukossa on esitetty yhtälöt korvaussuhteen laskemiseksi fytaasiannoksittain rehuille, jossa on matala tai korkea luontaisen fytaasin aktiivisuus.

Taulukko 14. Odotettavissa oleva sulavan fosforin määrän lisäys (g/kg ka), kun mikrobifytaasia lisätään rehuun, jossa on matala (maissipohjainen) tai korkea (vehnä/ohra pohjainen) luontaisen fytaasin aktiivisuus. Yhtälöt on esitetty alaviitteessä (Henriksen ym. 2013).

Luontainen fytaasi	Lisätty mikrobifytaasi, FTU/kg ka					
	250	500	750	1000	1250	1500
Matala ^a	0,40	0,60	0,71	0,79	0,85	0,91
Korkea ^b	0,29	0,47	0,58	0,65	0,71	0,76

^aYhtälö: $y(\text{maissi}) = 0,2854 \times \log_e(x) - 1,2014$, $R^2 = 0,28$, x = mikrobifytaasi (FTU/kg rehua).

^bYhtälö: $y(\text{vehnä/ohra}) = 0,2646 \times \log_e(x) - 1,1753$, $R^2 = 0,19$, x = mikrobifytaasi (FTU/kg rehua).

Taulukko 15. Fosforin sulavuudet joillekin kasviperäisille rehuaineille suomalaisen ohjeistuksen mukaan, kun rehuun on lisätty 0, 500 tai 1000 FTU/kg fytaasia (Partanen, 2010).

	Fytaasia, FTU/kg rehua		
	0	500	1000
Ohra	0,30	0,47	0,55
Vehnä	0,27	0,44	0,52
Kaura	0,27	0,44	0,52
Maissi	0,16	0,33	0,41
Herne	0,43	0,58	0,59
Härkäpapu	0,37	0,52	0,53
Soijarouhe	0,38	0,53	0,54
Rypsirouhe	0,30	0,47	0,55

Taulukko 14 osoittaa, että odotettavissa oleva mikrobifytaasiliäyksen vaikutus on suurempi rehuissa, joiden luontainen fytaasiaktiivisuus on alhainen verrattuna rehuihin, joissa on korkeampi luontaisen fytaasin aktiivisuus. Molemmilla luontaisen fytaasin tasoilla sulavan fosforin määrään vaikuttaa myös mikrobifytaasiannos (Henriksen ym. 2013). Taulukon 14 alaviitteissä esitettyjen yhtälöiden avulla voidaan laskea erilaisten fytaasiannosten odotettavissa olevia vaikutuksia sikojen rehuissa, jos muita tarkkoja tietoja ei ole käytettävissä. Nämä arvot ovat kuitenkin vain suuntaa-antavia ja koskevat vain kuivaruokintaa. Taulukossa 15 on esitetty suomalaisen laskukaavan mukaan lasketut fosforin sulavuudet joillekin kasviperäisille rehuaineille, kun rehuun on lisätty 0, 500 tai 1000 FTU/kg fytaasia (Partanen, 2010). Fosforin sulavuudet vastaaville rehuaineille EvaPig®-ohjelman mukaan, kun rehuun on lisätty 0, 500 tai 1000 FTU/kg fytaasia on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Fosforin sulavuudet joillekin kasviperäisille rehuaineille EvaPig®-ohjelman mukaan, kun rehuun on lisätty 0, 500 tai 1000 FTU/kg fytaasia.

	Fytaasia*, FTU/kg rehua		
	0	500	1000
Ohra	0,32	0,49	0,57
Vehnä	0,30	0,49	0,57
Kaura	0,32	0,51	0,58
Maissi	0,28	0,51	0,61
Herne	0,47	0,62	0,68
Härkäpapu	0,37	0,50	0,55
Soijarouhe	0,32	0,42	0,46
Rypsiroouhe	0,32	0,37	0,39

*Fytaasin tyyppi: 0,60 sulavaa fosforia/500 FTU fytaasia.

Käytännön kannalta on hyvä tietää, onko kaupallisten fytaasivalmisteiden tehoissa eroja. Taulukkoon 17 on kerätty nykyisten kaupallisesti saatavilla olevien fytaasivalmisteiden tehokkuuksia erilaisilla fytaasin lisäystasoilla (Poulsen ym. 2013b). Kontrollirehun fosforin sulavuus oli 41 % ja mikrobifytaasin lisääminen paransi fosforin sulavuutta kaikissa tapauksissa noin 20 prosenttiyksikköä 59–63%:iin ja tulos on yhdenmukainen Henriksen ym. (2013) katsauksen kanssa. Taulukossa 17 näkyy myös, että fytaasiliä nostaa rehun sulavan fosforin määrän jopa tasolle 2,6 grammaa sulavaa fosforia/kg kuiva-ainetta, mikä riittää tanskalaisten suositusten mukaan lihasikojen sulavan fosforin tarpeen tyydyttämiseen (ks. taulukko 8).

Taulukko 17. Kaupallisesti saatavilla olevien fytaasivalmisteiden vaikutuksia fosforin sulavuuteen (%) ja sulavan fosforin määrän lisäys (g) verrattuna kontrollirehuun (kokonaisfosfori 4,1 g ja 175 FTU/kg luontainen fytaasiaktiivisuus, kuivaruokinta, Poulsen ym. 2013b).

	1	2	3	4	5
	Kontrolli, 0 FTU	Natuphos, 750 FTU	Phyzyme, 750 FTU	Ronozyme, 1500 FTU	Ron-HI, 1000 FTU
P sulavuus, %	41	63	61	59	63
Sulava P/kg rehua	1,66	2,56	2,48	2,40	2,56
Sulavan P lisäys, g/kg rehua	-	0,89	0,81	0,73	0,89

Tieteelliset tutkimukset, kokeet ja käytäntö osoittavat, että vaikka mikrobifytaasi katalysoi fosfaattiryhmän irtoamista fytiinihaposta, fosforin sulavuus ohra-, vehnä- ja soijapohjaisissa kuivarehuissa ei kuitenkaan ylitä 60–65 %, vaikka käytettäisiin hyvin suuriakin fytaasiannoksia. (Johansen & Poulsen, 2003, Henriksen ym. 2013). Samanlainen tulos on saatu myös tällä hetkellä markkinoilla olevien kaupallisten fytaasivalmisteiden ruokintakokeessa (taulukko 17). Kokeessa käytettiin kuivia rehuja ja rehuun ei lisätty rehufosfaatteja (Poulsen ym. 2013b). Tämä näyttäisi oleva yksi rajoittava tekijä fosforin hyväksikäytön parantamisessa sioilla. Fosforin sulavuutta voidaan kuitenkin parantaa myös käyttämällä sikojen ruokinnassa liemiruokintaa.

4.6 Fytaasin käyttö rehuissa

Tällä hetkellä neljä fytaasivalmistetta on hyväksytty rehun lisäaineiksi EU:ssa (direktiivi 70/524/EEC). Suomessa Roal Oy valmistaa perinteistä *Aspegillus* -homeesta peräisin olevaa 3-fytaaasia (Finase®) sekä useita bakteeripärisiä 6-fytaaseja (Finase®EC ja Quatum® XT, TR, Blue). Danisco Animal Nutrition yhtiön fytaasituote on nimeltään Phyzyme Phyzyme® XP. Suomalaiset rehuntuottajat käyttävät myös ulkomaisia fytaasituotteita, kuten DSM:n RONOZYME® VP:tä. Aikaisemmin mikrobifytaasi oli kallista, mutta nyt käytön yleistyttyä, hintakin on laskenut niin paljon, että se ei ole enää esteenä fytaasin käytölle. Pitää myös huomioda, että rehufosfaatin hinta nousee koko ajan, kun louhitun fosforimineraalin määrä vähenee maailmanlaajuisesti.

Fytaasi lisää fytaattifosforin sulavuutta, jolloin rehufosfaattien (epäorgaaninen mineraalifosfaatti) tarve vähenee tai poistuu kokonaan (Karhapää ym. 2009, Abioye ym. 2010). Karhapää ym. (2009) mukaan yli 80-kiloisten lihasikojen ohra-soijajohjaisessa rehussa rehufosfaattia ei tarvittu lainkaan, kun rehussa on fytaaasia 500 yksikköä/kg. Ohra-soijaruokinnalla siat kasvoivat hieman paremmin ja käyttivät rehua tehokkaammin kuin ohra-ohravalkuaisrehuruokinnalla. Ohra-ohravalkuaisrehuruokinnalla fosfaatin jättäminen pois loppukasvatusrehusta heikensi hieman sikojen liikuntapisteitä fytaasilisästä huolimatta. Sen vuoksi ainakin ohravalkuaisrehuruokinnalla on hyvä olla hieman fosfaattia turvamarginaalina.

Taulukossa 18 on esitetty esimerkki, kuinka fytaaasia hyväksi käyttäen on voitu pienentää kaupallisten täysrehujen ja täydennysrehujen fosforipitoisuutta (Kimmo Kytölä, A-Rehu Oy, henkilökohtainen keskustelu 18.12.2012). Rehunvalmistaja Raisioagro Oy:n käyttämä fytaasiannos on n. 500 FTU, mikä vähentää rehun sulavan fosforin tarvetta 0,5 g (Päivi Volanto, henkilökohtainen keskustelu 5.2.2013).

Taulukko 18. Fytaasientsyymiä hyväksi käyttäen rehun fosforipitoisuutta voidaan pienentää kaupallisissa rehuissa.

Rehu	2007		2012		
	Käyttö %/RY	P g/kg	Fytaasi FTU/kg	P g/kg	Fytaasi FTU/kg
Täysrehu, porsaat	100	6,5	0	5,2	1500
Täysrehu 1, lihasiat	100	6,5	0	4,8	1000
Täysrehu 2, lihasiat	100	5,9	0	4,6	1000
Täysrehu, imettävät emakot	100	6,9	0	5,4	1000
Täysrehu, tiineet emakot	100	6,2	0	4,4	1000
Täydennysrehu-Mix	12–20	21,0	0	14,3	3000
Täydennysrehu, lihasiat	14–20	15,5	0	12,0	2000
Puolitäydennysrehu, imettävät emakot	38–40	13,3	0	9,8	1500
OVR-täydennysrehu, emakot	5–7	29,0	0	20,4	5500
OVR-täydennysrehu, porsaat	14–16	17,6	0	11,5	2500
OVR-täydennysrehu, lihasiat	5–8	24,6	0	13,0	5500
OVR-täydennysrehu, lihasiat	9–15	19,8	0	9,9	3500

Lähde: Kimmo Kytölä, A-Rehu Oy (henkilökohtainen keskustelu 18.12.2012)

Kasvipärisen fytiinihappoon sidotun fosforin hyväksikäyttöä lisäävän fytaasientsyymien käytön yleistymistä hankaloittaa tiedon puute. Ensinnäkin, tarvitaan tietoa kuinka fytaaasia käytetään oikein ja mikä on sen oletettavissa oleva vaikutus rehuseoksessa tietyllä fytaasiannoksella. Siksi ajantasainen tutkimustieto rehuaineista ja fytaasin vaikutuksista rehuseoksessa sekä tuottajien ja rehunvalmistajien neuvonta on tärkeää. Rehunvalmistuksessa tulisi huolehtia siitä, että fytaasi sekoittuu rehuun tasaisesti niin, että jokainen kilo rehua sisältää riittävän määrän fytaaasia.

Rehun lisäaineita tai niitä sisältäviä esiseoksia käyttävien tuottajien tulee noudattaa rehuhygieniasetuksen liitteen II vaatimuksia (EY/183/2005). Rehun lisäaineiden tai esiseosten käyttö oman tilaseoksen valmistuksessa edellyttää rekisteröitymistä rehun valmistajaksi. Eräiden lisäaineiden tai esiseosten käyttö rehun valmistuksessa edellyttää maatilalta hyväksyntää (www.evira.fi).

5 Valkuainen ja aminohapot

Eläimet tarvitsevat tyypeä sisältävää valkuaista ja aminohappoja. Valkuaisen ja aminohappojen riittävä saanti on valkuaisyynteesin ja siten myös kasvun edellytys. Valkuaisen ja välttämättömien aminohappojen puute heikentää tuottavuutta ja terveyttä.

5.1 Valkuaisen ja aminohappojen sulavuus

Sioilla valkuaisen (typen) kokonaissulavuus on useimmissa rehuaineissa melko korkea, yli 80 %. Aiemmin rehuaineiden valkuaisarvo sioilla perustui kokonaissulavuuteen, mutta nykyään valkuaisarvon arvioinnissa käytetään yleisimmin aminohappojen ohutsuolisulavuutta (NRC, 2012). Sialla rehuaineen valkuaisen tulee sulaa ja imeytyä aminohappoina ohutsuoilesta, jotta sika voi hyödyntää rehun aminohappoja valkuaisaineiden muodostamiseen elimistössä. Rehuaineen valkuaisarvo muodostuu rehun aminohappokoostumuksesta ja aminohappojen ohutsuolisulavuudesta (Partanen, 2013).

Aminohappojen ohutsuolisulavuus voidaan määrittää eri menetelmillä, jotka ovat näennäinen, standardoitu ja todellinen sulavuus. Suomessa on tähän asti ollut käytössä näennäinen aminohappojen ohutsuolisulavuus. Sen määrittämisessä ei ole huomioitu ohutsuolen ruokasulan sisältämiä eläimestä ja suoliston mikrobeista peräisin olevia ns. endogeenisiä aminohappoja (Partanen, 2013). Kun aminohappojen näennäinen sulavuus korjataan ruokasulassa olevan eläimestä ja rehun kuiva-aineen syöntimäärästä johtuvan perustason endogeenisten aminohappojen hävikin suhteen, saadaan standardoidut aminohappojen sulavuudet (Partanen, 2013). Standardoidut sulavuuskertoimet ovat suurempia kuin näennäiset sulavuuskertoimet. Jos sulavuuden laskennassa huomioidaan myös rehuaineen ominaisuuksista johtuva spesifi endogeenisten aminohappojen hävikki, saadaan rehun todellinen aminohappojen sulavuus.

Standardoituja sulavuuskertoimia käytettäessä rehuaineiden sulavien aminohappojen pitoisuudet summautuvat paremmin rehuseoksen sulavien aminohappojen pitoisuudeksi verrattuna näennäisten sulavuuk-sia käyttöön (Partanen, 2013). Suomessa otetaan vuoden 2014 aikana käyttöön sikojen uusi valkuaisarvo-järjestelmä. Sikojen valkuaisen tarve ilmaistaan standardoituina ohutsuolisulavina aminohappoina suhteessa rehun nettoenergiaan (g/MJ NE). Suositus annetaan lysiinille ja muiden välttämättömien amino-happojen suositus lasketaan ihannevalkuaisen koostumuksen perusteella suhteessa lysiiniin (Siljander-Rasi, 2013). Lisäksi ilmoitetaan Evapig®-ohjelmalla laskettu valkuaisen kokonaissulavuus kasvaville ja aikuisille sioille. Rehuaineiden sisältämien aminohappojen standardoituja sulavuuskertoimia on Eva-Pig®-ohjelmassa. Rehuaineille voidaan laskea aminohappojen standardoitu ohutsuolisulavuus myös kui-va-aineen ja typen *in vitro* -sulavuudesta yhtälöillä (Boisen, 2007).

Joissakin viljoissa ja runsaskuituisissa valkuaislähteissä valkuaisen sulavuus on kuitenkin melko alhainen. Joidenkin entsyymien on todettu parantavan valkuaisen ja aminohappojen sulavuutta sikojen ja siipikarjan rehussa. Näiden entsyymien, kuten proteaasi, ksylanaasi, jne., vaikutukset eivät kuitenkaan ole olleet yh-denmukaisia ja useimmissa tutkimuksista näillä entsyymeillä on saatu vain vähäisiä parannuksia valkuai-sen ja aminohappojen sulavuuteen (Selle ym. 2000, Cowieson ym. 2009).

5.2 Valkuaisen ja aminohappojen ruokintasuositukset

Ruokintasuosituksia käytetään kuvaamaan eläinten keskimäärin kuluttamia energian ja ravintoaineiden määriä eri tuotantomuodoissa ja kasvuvaiheissa. Vaikka ruokintasuositukset poikkeavat hieman toisistaan eri maissa, ne ovat kuitenkin yleisperiaatteiltaan hyvin samanlaisia. Valkuaisen ruokintasuositukset on yleensä annettu standardoituina ohutsuolisulavina aminohappoina (g/kg rehua tai energiayksikköä). Tau-lukossa 19 on esitetty Tanskassa voimassa olevat valkuaisen ja aminohappojen ruokintasuositukset sioille (Tybirk ym. 2013).

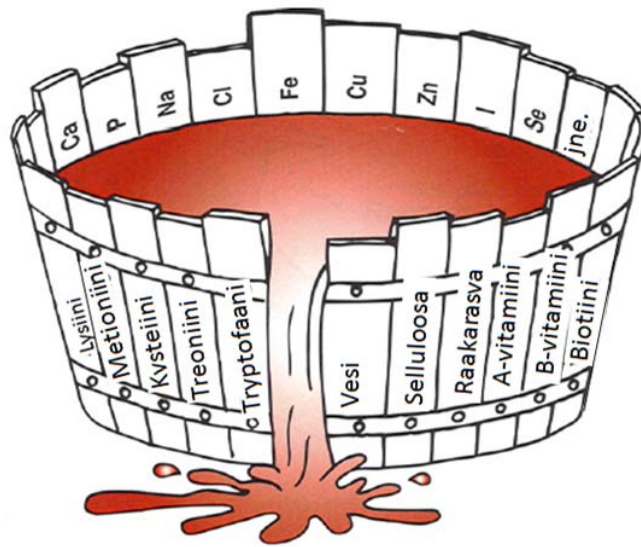
Taulukko 19. Tanskalaiset voimassa olevat sikojen standardoitujen ohutsuolisulavien aminohappojen ja valkuaisen ruokintasuositukset (Tybirk ym. 2013).

	Lysiini	Metioniini	Treoniini	Tryptofaani	Minimi raaka- valkuainen	Maksimi raaka- valkuainen
	g sulavaa/FEs ¹					
Emakot:						
Tiine	3,3	1,6	3,0	1,0	90	-
Imettävä	6,6	2,1	4,0	1,3	110	-
Porsaat:						
9–30 kg	10,5	3,4	6,4	2,1	144	154 ²
Lihaska:						
30–45 kg	8,5	2,6	5,4	1,7	130	-
45–105 kg	7,4	2,3	4,9	1,48	115	-

¹Tanskalainen kasvavien sikojen rehuyksikkö FEsv = 7,38 MJ fysiologista energiaa, Emakoiden rehuyksikkö FEso = 7,70 MJ fysiologista energiaa.

²Liian korkea raakavalkuaispitoisuus voi aiheuttaa ripulia porsaille. Tämän vuoksi taulukossa on annettu pienille porsaille myös suositeltu maksimi raakavalkuaispitoisuus.

Viljoissa on vähän valkuaista ja välttämättömiä aminohappoja, minkä vuoksi tarvitaan täydentäviä valkuaisrehuja, kuten soijaa, rypsiä ym. Nuorille eläimille ja emakoille voidaan syöttää myös eläinperäistä valkuaista, kuten kalajauhoa. Useimpien kasviperäisten rehuaineiden aminohappokoostumus ei ole optimaalinen sikojen aminohappotarvetta ajatellen, jolloin osa valkuaisesta menee hukkaan (erittyy lantaan, kuva 2). Typen eritystä lantaan voidaan vähentää käyttämällä sikojen rehun ainesosina teollisesti valmistettuja puhtaita aminohappoja. Tällöin sikojen aminohappotarve voidaan täyttää vähemmällä raakavalkuaimäärällä ja typen erityks lantaan vähenee.



Kuva 2. Jos jonkun välttämättömän aminohapon pitoisuus rehussa on liian alhainen, se rajoittaa kasvua ja rehun mui-takaan proteiineja ei voida käyttää kasvuun vaan ylimäärä erittyy virtsaan.

Taulukossa 20 on lueteltu sikojen rehun välttämättömiä ja ei-välttämättömiä aminohappoja (Nørgaard, 2012). Joitakin näistä välttämättömistä aminohapoista tuotetaan teollisesti, jolloin niitä on markkinoilla saatavana. Puhtaiden aminohappojen käyttö edellyttää kuitenkin, että ne ovat taloudellisesti kannattava vaihtoehto. Tämä tarkoittaa sitä, että puhtaiden aminohappojen käyttäminen rehuaineena tulee edullisemmaksi, kuin soijan, rypsin tai muun valkuaisrehun käyttö. Puhtaita aminohappoja voidaan käyttää tavanomaisessa tuotannossa, sen sijaan luonnonmukaisessa tuotannossa niiden käyttö ei ole sallittua. Puhtaiden aminohappojen sulavuus on usein arvi-oitu olevan lähellä 100 %.

Taulukko 20. Sikojen rehun välttämättömät ja ei-välttämättömät aminohapot (Nørgaard, 2012). Kaupallisesti rehuihin saatavilla olevat puhtaat aminohapot on merkitty lihavoidulla kirjasimella.

Välttämätön	Osittain välttämätön	Ei välttämätön
Histidiini	Arginiini	Alaniini
Isoleusiini	Kysteiini	Asparagiini
Leusiini	Tyrosiini	Asparagiinihappo
Lysiini		Glutamiinihappo
Metioniini		Glutamiini
Fenylalaniini		Glysiini
Treoniini		Proliini
Tryptofaani		Seriini
Valiini		

Kaikkia välttämättömiä aminohappoja ei vielä valmisteta puhtaina aminohappoina rehukäyttöön, joten ne sian pitää saada rehuaineista. Tämä voi olla esteenä sille, että rehun raakavalkuaisen, sian erittämän typen ja ammoniakkipäästöjen määrää voitaisiin edelleen vähentää. Jotta rehu voitaisiin optimoida oikein, tarvitaan tietoa siitä, mikä on sian valkuaisen ja aminohappojen tarve missäkin iässä ja tuotantovaiheessa. Myös sian rotu ja sukupuoli vaikuttavat valkuaisen tarpeeseen. Tutkimus- ja kehitystyötä tarvitaan lisää, jotta rehuaineiden ja rehuseosten ravintoaineiden hyväksikäyttöä voitaisiin edelleen parantaa. Taulukkoon 21 on koottu tanskalaisia tietoja sikojen typen saantimääristä ja typen erittymisestä lantaan (Poulsen, 2013).

Taulukko 21. Tanskassa kasvatettujen sikojen typen saanti ja erittyminen lantaan (Poulsen, 2013).

	1 lihasika 32–107 kg (elopaino)	1 välikasvatus porsas 7,2–32 kg (elopaino)	1 emakko porsaineen /vuosi
Typpi			
Saanti, kg	5,06	1,26	32,87
Imeytyminen, kg	2,22	0,75	7,31
Eritys, kg	2,84	0,51	25,56
Hyväksikäyttö, %	44	60	22

6 Sikojen ruokinta

6.1 Rehuarvojärjestelmä

Suomen nykyinen sikojen rehuarvojärjestelmä on vanhentunut sekä energia- että valkuaisarvojen laskentaperusteiden osalta. Uudeksi rehuarvojärjestelmäksi on valittu Ranskalainen INRA-AFZ:n rehuarvojärjestelmä (MTT, 2014). Uudessa rehuarvojärjestelmässä rehujen energia-arvot lasketaan EvaPig®-ohjelmalla rehun kemiallisen koostumuksen perusteella käyttäen rehuainekohtaisia tai yleisiä yhtälöitä ja energia-arvot perustuvat nettoenergiaan. Kasvaville ja aikuisille sioille lasketaan omat energia-arvot. Energia-arvon yksikkönä on megajoule (MJ).

Valkuaisarvo lasketaan rehun aminohappokoostumuksen ja aminohappojen standardoitujen ohutusolisulavuuksien perusteella. Rehuarvot lasketaan EvaPig®-ohjelmalla, joka on saatavissa ilmaiseksi (www.evapig.com). Ohjelma sisältää yli sadan rehuaineen koostumustiedot ja rehuarvot. Näiden pohjalta ohjelmalla on helppo laskea omien analyysitietojen perusteella viljan ja monien muiden rehuaineiden rehuarvot. Uusi rehuarvojärjestelmä otetaan virallisesti käyttöön vuoden 2014 aikana. Suomalaiset sikojen rehuaulukot uudistetaan uuden rehuarvojärjestelmän mukaisiksi <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehuaulukot/Rehuaulukot/siat>.

6.2 EvaPig-ohjelma

EvaPig®-ohjelmassa on annettu rehuaineiden kokonaisfosforipitoisuus ja sulavan fosforin pitoisuus. Tiedot ovat peräisin pääosin INRA-AFZ:n rehuaulukoista. Sulava fosfori kuvaa uudessakin rehuarvojärjestelmässä rehufosforin käyttökelpoisuutta sioille.

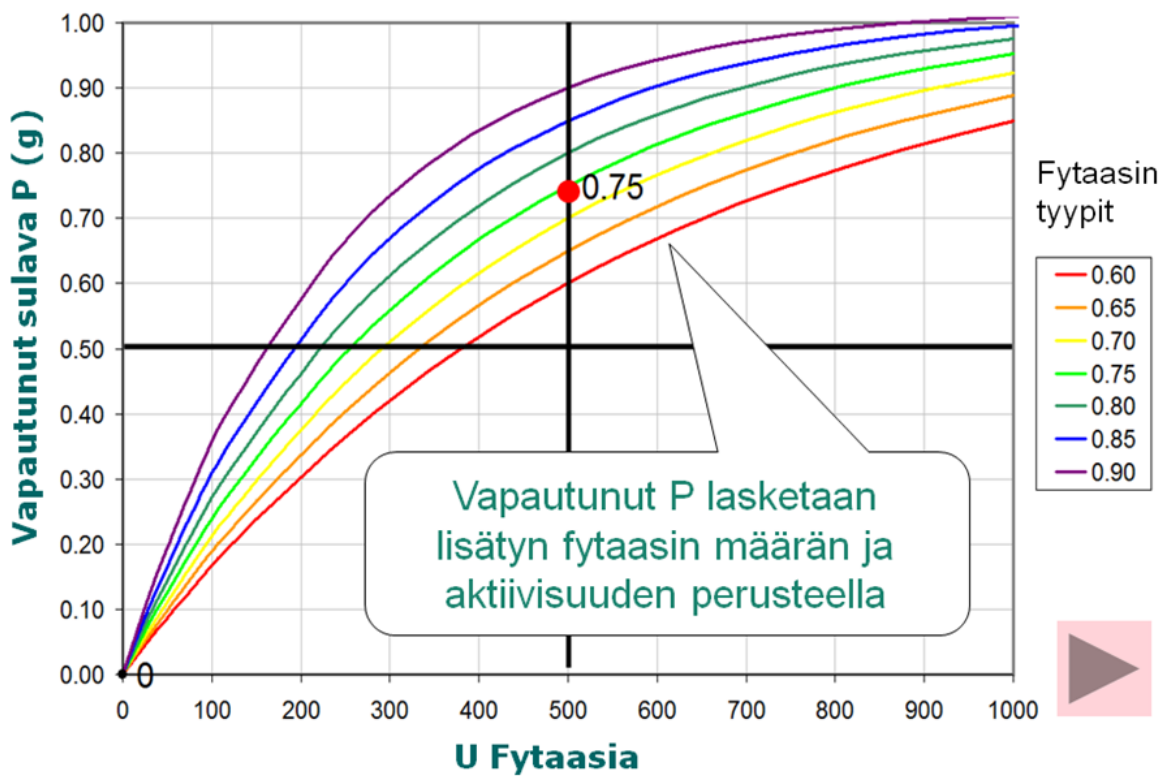
Fytaasin vaikutusta voi arvioida EvaPig®-ohjelman avulla ([EvaPig® Käyttäjän ohjekirja](#)). EvaPig®-ohjelma tarvitsee tiedon fytaasivalmisteen biologisesta aktiivisuudesta, eli kuinka monta grammaa sulavaa fosforia 500 U fytaasia vapauttaa fytaatista (fytaasin valmistajan antama tieto). Tyypilliset arvot vaihtelevat 0,5–0,9 g fosforia 500 U fytaasia kohden (fytaasin tyyppi, kuva 3). Ohjelmaan syötetään myös tieto fytaasivalmisteen väkevyydestä, eli kuinka paljon gramma fytaasivalmistetta sisältää aktiivista fytaasia (U) sekä tavoiteltu aktiivisuus rehuseoksessa (U / kg rehua).

Rehuseoksen sulavan fosforin kokonaismäärä lasketaan siten, että ensin lasketaan sulavan fosforin määrä käyttäen rehuaineiden arvoja. Tämä laskenta käyttää jauheisen tai rakeistetun rehuaineen arvoja rehun olomuodon mukaan. Jos rehuseos on rakeistettu, rehuaineet eivät vaikuta fosforin vapautumiseen, koska rehuaineiden luontainen fytaasi on tuhoutunut, ja fytaatti-fosforin vapautuminen johtuu kokonaan rehuun lisätystä fytaasista. Suomen rehuaulukossa fosforin sulavuutena käytetään EvaPig®-ohjelman antamaa rakeistetun rehun sulavuutta ohralle ja vehnälle, koska suurin osa viljoista on lämpökuivurilla kuivattua, jolloin voidaan olettaa, että luontainen fytaasi on ainakin osittain tuhoutunut. Vapautunut fosfori lasketaan käyttäen Yhtälöä 1 ja se lisätään sulavan fosforin määrään.

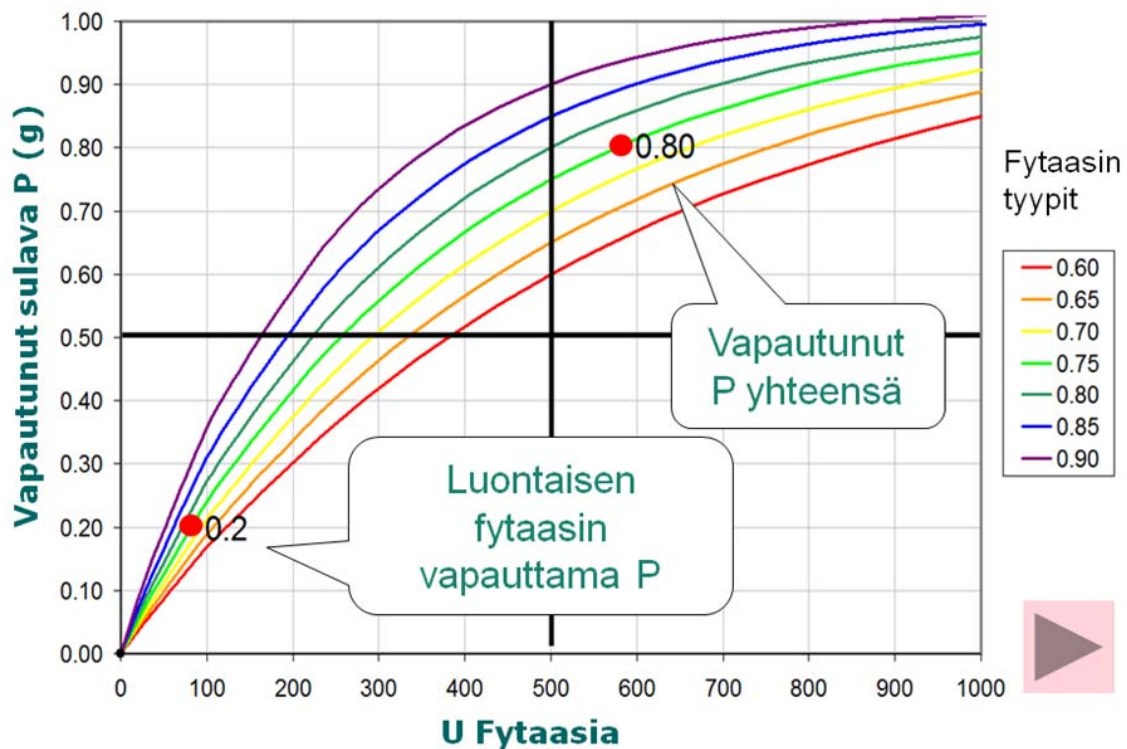
Yhtälö 1

$$\text{Vapautunut P} = 1,026 \times (1 - e^{(-0,00263 \times \text{Fytaasiyksiköt} \times c)})$$

Rehun fytaasitason ja fytaattifosforista vapautuneen fosforin välinen suhde on käyräviivainen, jolloin fytaasilla saatu lisähyöty pienenee, kun lisätyn fytaasin määrä kasvaa ([EvaPig®-ohjelman pikaopas](#), kuva 3).



Kuva 3. Vapautuneen sulavan fosforin määrä rehuseoksessa, johon on lisätty fytaasia, mutta jossa ei ole luontaista fytaasia ([EvaPig®-ohjelman pikaopas](#)).



Kuva 4. Vapautuneen sulavan fosforin määrä rehuseoksessa, johon on lisätty fytaasia, mutta jossa on myös rehuaineiden luontaisen fytaasin aktiivisuutta ([EvaPig®-ohjelman pikaopas](#)).

Kun EvaPig® laskee rehuseoksen sulavan fosforin pitoisuuden, se huomioi rehuaineiden sisältämän luontaisen (endogeenisen) fytaasin vaikutuksen, jos se on vielä aktiivinen, esimerkiksi jauheisessa rehussa ja rehuun lisätyn (eksogeenisen) fytaasin vaikutuksen (kuva 4). Luontaisen fytaasin vaikutus huomioidaan

rehuaineissa, joissa on huomattavaa fytaasin aktiivisuutta, kuten kylmäilmakuivurilla kuivatussa (tai tuoresäilöttyssä) rukiissa, vehnässä ja niiden sivutuotteissa. Tällöin täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että rehuaineissa oleva luontaisen fytaasin määrä laskee varastoitaessa.

Fytaasiyksiköiden määrä, joka tarvitaan tunnettua vapautuvan fosforin määrää varten, voidaan laskea Yhtälöä 2 hyväksikäyttäen ([EvaPig® Yhtälöt ja kertoimet](#)):

Yhtälö 2

$$\text{Fytaasiyksiköt} = -\text{Ln} (1 - P_{\text{vapautunut}}/1,026) / (-0,00263 \times c)$$

Kaavassa fosforin yksikkö on gramma ja fytaasin yksikkö on U. Kerroin c riippuu käytetyn fytaasin aktiivisuudesta, ilmaistuna g vapautunutta fosforia 500 U fytaasia kohti (taulukko 22).

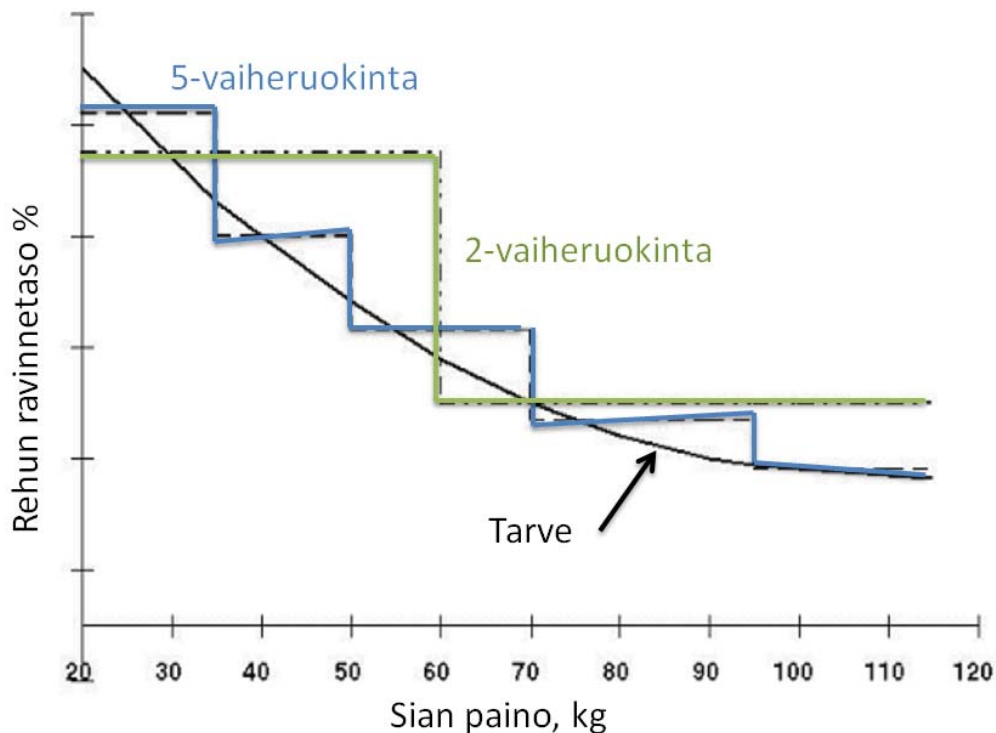
Taulukko 22. Kertoimet fytaasiyksiköiden laskemista varten ([EvaPig® Yhtälöt ja kertoimet](#)).

Fytaasin tehokkuus	c
0,60	0,668
0,65	0,763
0,70	0,872
0,75	0,999
0,80	1,151
0,85	1,340
0,90	1,595

6.3 Rehuoptimointi ja vaiheruokinta

Rehuoptimointiohjelmassa tulisi olla tieto kaikkien rehuaineiden ravintoarvoista ja sikojen eri tuotantovaiheiden ruokintasuosituksista. Usein optimointiohjelmassa on myös rehuaineiden hintatiedot, jolloin saadaan optimoitua myös rehuseoksen hinta. Vaiheruokinta on tärkein keino saada sikojen fosforin saanti vastaamaan sikojen kasvaessa ja emakoiden tiineyden ja imetyksen aikana rehun syönnissä ja fosforin tarpeessa tapahtuvia muutoksia. Vaiheruokinnassa siat ruokitaan iän, tuotantovaiheen, kasvunopeuden ja rehunmuuntosuhteen mukaan (kuva 5, Ferket ym. 2002). Tiineille ja imettäville emakoille suositellaan 2–3 -vaiheruokintaa ja lihasioille jopa 4–5 -vaiheista ruokintaa.

Sikojen ruokinnassa käytetään yleisesti useampia kuin yhtä rehuseosta kasvatuskauden aikana ja se on tuonut tarkkuutta ruokintaan. Käytännön tekijät, kuten silojen määrä, ruokintamenetelmä ja putkilinjojen määrä, voivat kuitenkin vaikuttaa siihen, kuinka monta erilaista rehuseosta tilalla on käytössä (Saarela & Partanen, 2008). Ruokintaa tarkentamalla saavutetaan parempi fosforin ja typen hyväksikäyttö ja vähäisempi erityis sontaan. Siihen, käytetäänkö sioille vapaata vai rajoitettua ruokintaa vaikuttaa mm. eläimen genotyyppi, sukupuoli, ikä ja sikalan kasvatusstrategia. Vapaa ruokinta loppukasvatuksessa voi alentaa lihaprosenttia, mikä ei ole suotavaa, sillä kuluttajat haluavat vähärasvaisia lihatuotteita.



Kuva 5. Vaiheruokinnan avulla kuhunkin kasvuvaiheeseen pyritään saamaan optimaalinen rehun koostumus, joka ylläpitää potentiaalista kasvua, mutta ei johda energian, fosforin tai aminohappojen tuhlaukseen (Ferket ym. 2002).

Vaiheruokinnan suosio on lisääntynyt viime vuosina. Saarelan & Partasen (julkaisematon, 2008) mukaan lihasikojen vaiheruokinta ei ollut vielä kovin yleistä vuonna 2008. Kyselytutkimuksen mukaan 37 % tiloista käytti vain yhtä ruokintavaihetta, 40 %:lla tiloista käytössä oli 2-vaiheruokinta ja vain 23 % tiloista ruokki lihasikojä kolmen vaiheen mukaisesti. Tutkimuksen mukaan useampaan ruokintavaiheeseen siirtymistä rajoitti se, että sikalassa oli käytössä jatkuvan täytön menetelmä, tai katsottiin, että vaiheruokinta lisää työmäärää, mutta kasvutulos ei parane tai, että tilalla ei ole kapasiteettia useamman rehun varastointiin. Tilakyselyyn osallistui 42 sikatalousyrittäjää. Eniten osallistujia oli Etelä-Pohjanmaalta (14 kpl), Varsinais-Suomesta (12 kpl) ja Hämeestä (5 kpl).

Vaiheruokinnan yleisyydestä Suomessa ei ole olemassa tilastotietoa, vaan tiedot perustuvat muutamien isojen rehuntuottajien arvioihin. Suomen Rehu Oy:n arvion mukaan 35 % suomalaisista lihasikalosta käyttää 3- tai 4-vaiheruokintaa (tämä käsittää noin 50 % kaikista Suomen lihasioista), 2-vaiheruokintaa käyttää 45 % tiloista (35 % Suomen lihasioista) ja yhtä ruokintavaihetta käyttäviä tiloja on noin 20 % (15 % Suomen lihasioista). A-Rehu Oy:ltä arvioitiin myös, että vaiheruokinta on Suomessa laajalti käytössä. Heidän arvionsa mukaan jopa 95 % lihasikatiloista ja 85 % yhdistelmäsikalosta käyttää vaiheruokintaa. Raisioagro Oy:n Päivi Volannon (henkilökohtainen keskustelu 5.2.2013) mukaan arviolta 90 % kaikista sikatiloista käyttäisi vaiheruokintaa. Vaiheruokinta vähentää lannan ravinnesisältöä ja ympäristön kuormitusta.

Sikojen ruokintaa voidaan tarkentaa myös ruokkimalla eri sukupuolet erikseen. Suomen suurimmat rehuntuottajat (A-Rehu Oy, Suomen Rehu Oy ja Raisioagro Oy) arvioivat, että sukupuolijaoteltu ruokinta on käytössä vain 10–20 % suomalaisista tiloista eli noin 20 %:lla kaikista Suomen sioista.

6.4 Ruokintamuodot

Suomessa sianrehut perustuvat yleensä ohraan ja soijaan, tai erilaisiin etanoli-, tärkkelys- ja meijeriteollisuuden sivutuotteiden hyödyntämiseen. Suomen Rehu Oy:ltä arvioitiin, että täysrehuja käytetään eniten porsaiden rehuna ja lihasioille käytetään enemmän viljan täydennysrehuja ja tilaseoksia. A-Rehu Oy:n arvion mukaan porsaiden täysrehujen ja täydennysrehujen käyttö olisi 50 % ja 50 % (taulukko 23). Taulukossa 24 on esitetty otos ruokintamuodoista Suomen sikaloissa. Kyselykaavake lähetettiin 64 tilalle ja kysely oli osa MTT:n Sikatila-hanketta (Partanen ym. 2009, julkaisematon).

Taulukko 23. Täysrehujen ja viljan täydennysrehujen käyttö Suomessa (arviot rehuntuottajilta).

Rehuntuottaja	Porsaat		Lihasiat		Emakot	
	Täys-rehu, %	Täydennys-rehu, %	Täys-rehu, %	Täydennys-rehu, %	Täys-rehu, %	Täydennys-rehu, %
Suomen Rehu Oy	75	25	30	70	40	60
A-Rehu Oy	50	50	15	85	40	60

Taulukko 24. Ruokintamuodot suomalaisissa lihasikaloissa (Partanen ym. 2009, julkaisematon).

Rehun muoto	Tilojen lkm	%
Kuiva rehu	27	42,2
Liemirehu	36	56,3
Molemmat	1	1,6
Yhteensä	64	100
Täysrehun käyttö	Tilojen lkm	%
Ei yhtään	44	68,8
Vain alussa	12	18,8
Koko kasvatusajan	7	10,9
Ei vastausta	1	1,6
Yhteensä	64	100
Tilaseos	Tilojen lkm	%
Vilja-täydennysrehu	38	59,4
Komponentti	1	1,6
OVR-vilja-täydennysrehu	13	20,3
OVR-komponentti	4	6,3
Ei, vain täysrehu	6	9,4
Kaksi tai useampi vaihtoehdoista	2	3,1
Yhteensä	64	100

Kysely lähetettiin 64 sikatuottajille.

Liemiruokinnan yleisyys vaihtelee eri maissa, johtuen erilaisien sivutuotteiden tarjonnasta, perinteistä ja taloudellisesta tilanteesta. Tarkkoja lukuja ei siis ole käytettävissä, mutta karkeasti arvioiden Itämeren alueella yli 50 % ja joillakin alueilla jopa 70 % sioista kasvatetaan tiloilla, joissa on liemiruokintalaitteisto. Asiantuntijoiden arvion mukaan liemiruokinnan osuus sikojen ruokintamuotona tulee vielä kasvamaan ja kuivaruokinnan osuus pienenemään. Suomessa sikojen liemiruokinta on yleistynyt nopeasti, mutta sen yleisyydestä ei ole virallisia tilastoja. Liemiruokinta antaa mahdollisuuden kierrättää nestemäisiä sivutuotteita eläinten rehuksi. Moni suomalainen tila käyttää liemiruokintaa erityisesti lihasioille (taulukko 25). Myös emakoilla liemiruokinnan käyttö on yleistä, arviolta hieman alle puolet tiloista käyttää liemiruokintaa. Vieroitettujen porsaiden kohdalla liemiruokinnan käyttö on hieman harvinaisempaa (taulukko 25).

Taulukko 25. Liemiruokinnan käyttö Suomessa (arviot rehuntuottajilta).

Rehuntuottaja	Liemiruokinta, %		
	Porsaat	Lihasiat	Emakot
Altia	20	70	40
A-Rehu Oy	50	85	50
Raisioagro Oy	35–40	85	35–40
Suomen Rehu Oy	20	70	30

Liemiruokintalaitteiston avulla vaiheruokinta on helpompi toteuttaa. Liemiruokintalaitteistojen avulla rehuseptejä voidaan helpommin päivittää muuttuvien rehuaineiden koostumustietojen mukaan ja eri osastoille voidaan jakaa erilaista rehuseosta. Liemiruokintalaitteisto mahdollistaa sikojen vapaan ruokinnan ja tarkan rehuannostelun kasvuvaiheen mukaan.

6.4.1 Liemiruokinta parantaa sulavuutta

Liemiruokinnassa on monia etuja kuivaruokintaan verrattuna, kuten parantunut kasvu ja rehuhyötysuhde, parempi fosforin sulavuus (fosfori, valkuainen, aminohapot, jne.) ja maittavuus (kuva 6). Liemimäisen ohravalkuaisrehun (OVR) fosforin sulavuus on erittäin hyvä, 33–68 % prosessoinnista riippuen (MTT, 2014).



Kuva 6. Liemirehu maistuu sioille hyvin ja siinä fosforin sulavuus on paljon korkeampi kuin kuivassa rehussa.

Blaabjerg ym. (2010, 2011) mukaan yksi tärkeä syy, miksi sian ruoansulatuselimistö ei pysty tehokkaammin hyödyntämään fytiinifosforia, on rehun melko lyhyt viipymäaika mahalaukussa. Jopa 30 % rehusta poistuu mahalaukusta tunnin kuluessa syömisestä. Liemiruokinta mahdollistaa eräänlaisen esisulatuksen, koska fytaasi aloittaa fytiinihapon purkamisen jo ennen kuin rehu on eläimen ruoansulatuskanavassa. Viimeaikaiset tutkimukset ovat osoittaneet, että joissain tapauksissa rehuun lisätty mikrobifytaasi pystyy purkamaan kaikki fytiinihapon sisältämät fosfaattiryhmät. Prosessin tehokkuuteen vaikuttavat mm. aika, rehun lämpötila, pH jne. (Lyberg ym. 2005, 2006, Blaabjerg ym. 2010, 2011). Liemiruokintalaitteiston toimivuus ja optimaalisten olosuhteiden luominen fytaasin toiminnalle tilaolosuhteissa vaatii kuitenkin vielä kehitystyötä (Blaabjerg ym. 2011). Tutkimuksissa on saatu viitteitä siitä, että liemiruokinnan avulla myös valkuaisen sulavuutta voidaan parantaa (Lyberg ym. 2006, Poulsen ym., julkaisematon). Lisää tutkimusta tarvitaan, että voitaisiin määrittää odotettavissa oleva vaikutus käytännön tasolla.

Liemiruokinnan hankaluutena on, että nestemäisten sivutuotteiden kuiva-ainepitoisuus on usein alhainen ja koostumus vaihtelee erittäin. Jos rehureseptiä muutetaan usein rehuerän mukaan, tuottavuus ei kärsi. Myös liemiruokintalaitteistojen toiminnassa on ollut ongelmia. Partanen ym. (2012) tutkimuksessa oli mukana 12 liemiruokintaa käyttävää emakkotilaa Etelä-Pohjanmaalta. Laitemerkit olivat Pellon Group, Big Dutchman, Howema, Weda ja Schauer. Tulosten mukaan liemen kuiva-ainepitoisuus vaihteli ruokin-
taputkiston eri osissa. Tutkimuksessa havaittiin myös, että kalsium kerääntyi helposti putkistoon, jolloin se voi aiheuttaa vääristymän rehun kalsium-fosfori -suhteeseen (Partanen ym. 2012).

6.5 Rehuhyötysuhde

Eläin käyttää rehusta saatavat ravintoaineet ja energian tuotokseen ja ylläpitoon. Tehokkainta tuotanto on silloin, kun päivittäiseen ylläpitoon käytetty osuus ravintoaineista ja energiasta on mahdollisimman pieni ja tuotantoon käytetty osuus mahdollisimman suuri. Rehuhyötysuhde kertoo, paljonko siat ovat käyttäneet rehua tuottaakseen yhden kasvukilon (kg rehua/kg kasvua). Jalostustyö, joka tähtää eläimen rehuhyötysuhteen parantamiseen, on tärkeä tekijä, jonka avulla voidaan lisätä ravintoaineiden ja energian hyväksikäyttöä. Monissa maissa se on osa jalostusohjelmaa. Jalostusohjelmat, jotka pyrkivät lisäämään tuotosta ja/tai parantamaan rehuhyötysuhdetta, tuottavat tehokkaampia genotyyppejä. Parempi rehuhyötysuhde tarkoittaa sitä, että myös ravintoaineiden ja energian hyväksikäyttö tehostuu. Koska syöty rehumäärä vähenee, myös lannan määrä vähenee. Täten myös jalostusohjelmalla (uusi genotyyppi) voidaan vaikuttaa lannan ja lannan ravinteiden määrään (Poulsen ym 2013a).

7 Lannan ravinnepitoisuus

Ruokinnan avulla voidaan vaikuttaa sikojen lannan määrään ja sen ravinnepitoisuuteen. Eri sikaryhmien typpi- ja fosforieritys jakaantuu eri tuotantovaiheiden välillä karkeasti samoin kuin sonnan määrällinen eritys (Dourmad ym. 1999, van der Peet-Schwering ym. 1999, Fernández ym. 1999). Suurimman osan sikatalouden tuottamista ravinteista tuottavat lihasiat, 60–70 % typen ja fosforin kokonaiserityksestä. Emakoiden ja vieroittamattomien porsaiden osuus typen kokonaiserityksestä on noin 20–30 % ja välikasvatamossa olevien porsaiden osuus on noin 5–10 %. Välikasvatusporsaiden tuottaman lannan ravinteiden osuus sikatalouden typpierityksestä on 5–10 % ja fosforin erityksestä 5–15 % (Dourmad ym. 1999, van der Peet-Schwering ym. 1999, Fernández ym. 1999).

Taulukko 26. Erialaisten ruokintastrategioiden vaikutus lannan typpi- ja fosforipitoisuuteen (Ferket ym. 2002).

Ruokintastrategia	Lannan typpipäästöjen vähennys	Lannan fosforipäästöjen vähennys
Rehun pilaantumisen/tuhlauksen minimointi	1,5 % / 1 %:n vähennys	1,5 % / 1 %:n vähennys
Rehun optimointi tarvetta vastaavaksi	10–15 %	10–15 %
Vaiheruokinta	5–10 %	5–10 %
Sukupuolilajittelu	5–8 %	–
Fytaasilisä/alhainen fosforitaso	2–5 %	20–30 %
Fytaasilisä/entsyymisekoitus	5–8 %	20–40 %
Fytaasilisä/probiootit	2–5 %	20–40 %
Raakavalkuaisen korvaaminen puhtailla aminohapoilla	9 % vähennys / 1 % vähennys raakavalkuaista	–
Hyvin sulavat rehuaineet	5 %	5 %
Rehun rakeistus	5 %	5 %
Rehun pieni partikkelikoko (700–1000 µm)	5 %	5 %
Entsyymit: sellulaasit, xylanaasit, pentosanaasit, β-glukanaasit	5 %	5 %
Matalan fytaattipitoisuuden maissi	–	25–50 %

Rehun fosforipitoisuuden laskiessa myös lannan fosforipitoisuus laskee. Epäorgaanisen fosfaatin osittainen korvaaminen fytaasilla alentaa merkittävästi lannan fosforipitoisuutta (Karhapää ym. 2009). Lihasikakokeessa, jossa monokalsiumfosfaattia korvattiin fytaasientsyymillä (500 FTU) lannassa erittyvän fosforin määrä aleni fytaasin ansiosta 20–35 % rehuainepohjasta riippuen. Fytaasilisää käytettäessä fosforin määrä lannassa väheni ohra-ohravalkuaisrehuruokinnalla vähemmän kuin ohra-soija-ruokinnalla. Fosforia erittyi hieman yli kilo lihasikaa kohti, mikä oli noin puoli kilo vähemmän kuin fosfaattia sisältäneellä kontrolliruokinnalla. Lannan fosforista 54–84 % oli veteen helposti liukenevaa. Helppoliukoista fosforia oli ohra-ohravalkuaisrehuruokinnalla hieman enemmän kuin ohra-soijaruokinnalla. Vesiliukoisen fosforin osuus kokonaisfosforista on sitä pienempi, mitä enemmän rehussa on fosforia ja kalsiumia. Eri-laisia ruokinnallisia keinoja, joilla voidaan vähentää sikojen lannan typpi- ja fosforipitoisuutta on esitetty taulukossa 26 (Ferket ym. 2002, FASS 2001).

Jos siat saavat rehussa tarpeeseensa nähden liikaa valkuaista ja aminohappoja, ylimääräinen typpi erittyy virtsaan. Kun proteiineista pilkotaan typpiryhmä pois, muodostuu ureaa, ja tämä urea poistetaan elimistöä virtsan mukana. Tämä lisää sian juoman veden määrää, koska munuaiset tarvitsevat vettä urean erittämiseen (Pfeiffer ym. 1995, Schiavon ym. 2009). Virtsan typpi hydrolysoituu nopeasti ammoniakiksi ja hiilidioksidiksi, jolloin sikalailman ammoniakkipitoisuus kasvaa. Valkuainen on myös kallista hukatta-

vaksi, joten on tärkeää, että eläimet ruokitaan niiden todellisen tarpeen mukaan. Yhden prosenttiyksikön muutos rehun valkuaispitoisuudessa vähentää typen kokonaisuutusta 9 prosenttia (taulukko 25, Ferret ym. 2002). Matala valkuaisruokinta voi vähentää sikalan lietalannan määrää jopa 28 prosenttia (Kay & Lee, 1997).

7.1 Ruokinnan ravinnetase

Ruokinnan ravinnetaselaskelmassa lasketaan, miten paljon ravintoaineista on ruokinnassa ylijäämää eli paljonko sontaan jää ravinteita. Ruokinnan ravinnetaselaskelmien avulla voidaan karkealla tasolla laskea rehun sisältämän typen ja fosforin hyväksikäyttöä ruokinnassa. Ravinteiden hyväksikäyttöön vaikuttavat myös monet muut tekijät, joita laskennassa ei pystytä ottamaan huomioon. Ravinnetaselaskelmien tarkoituksena on auttaa kotieläintiloja arvioimaan lannan sisältämää typpi- ja fosforipitoisuutta. Ravinnetaseita voidaan laskea monella tavalla (Valaja ym. 1993, Poulsen, 2013). Sikojen ruokinnan ravinnetase voidaan arvioida siten, että vähennetään sian rehussaan syömän typen tai fosforin kokonaismäärästä eläimeen tai sen tarkastelujaksolla tuottamiin jälkeläisiin ja maitoon pidättynyt typpi tai fosfori.

Tanskalaisen ravinnetaseen laskukaavan mukaan (Poulsen, 2013) rehun typpimäärä lasketaan raakavalkuaispitoisuudesta. Rehun valkuainen sisältää keskimäärin 6,25 g/kg typpeä, ja rehun typpipitoisuus saadaan jakamalla raakavalkuaispitoisuus 6,25:llä.

Ruokinnan ravinnetase = Rehun sisältämä typpi (N) ja fosfori (P) tarkastelujaksolla, josta on vähennetty sikaan pidättynyt N ja P tarkastelujaksolla

$$= (\text{Rehua, kg} * \text{rehun N / P -pitoisuus}) - (\text{Sian kasvu kg} * \text{sian N / P -pitoisuus})$$

Rehun raakavalkuais- ja fosforipitoisuus määritetään kemiallisella analyysillä. Jos tähän ei ole mahdollisuutta, voidaan käyttää reseptissä tai vakuustodistuksessa ilmoitettua pitoisuutta.

Rehun typpipitoisuus = Rehun raakavalkuaispitoisuus / 6,25.

Sian kasvaessa typpeä sitoutuu 29,6 g N/ kg kasvua eli sian typpipitoisuus on siis 2,96 % elopainosta.

Sian kasvaessa fosforia sitoutuu 5,5 g P/ kg kasvua eli sian fosforipitoisuus on noin 0,55 % elopainosta.

N / P:n pidättyminen = kasvu kg (loppupaino – alkupaino) x sian N / P -pitoisuus kg.

Tase = lantaan (sonta ja virtsa) päätyvä ravinnemäärä (sisältää myös ammoniakkinen haihtuvan typen).

Sian fosfori ja typpipitoisuus riippuu ruhon koostumuksesta. Ruhon koostumus on erilainen erikokoisilla ja erirotuisilla sioilla. Ravinnetaseen laskemista voidaan tarkentaa sian painon mukaan korjauskertoimilla (Poulsen, 2013):

Sian typpipitoisuus=(loppupaino – alkupaino) x (13,77 + 0,1733 x (loppupaino + alkupaino)) /2839.

Sian fosforipitoisuus=(loppupaino – alkupaino) x (4,405 + 0,0275 x (loppupaino + alkupaino)) /617.

Rehun sisältämän typen määrää voidaan tarkentaa käyttämällä kaavaa:

((sian syövä rehumäärä, kg x rehun typpipitoisuus, kg N /kg rehua) – (loppupaino – alkupaino) x 0,0296 kg typpeä kasvukiloa kohden)) / 2839.

Rehun sisältämän fosforin määrää voidaan tarkentaa käyttämällä kaavaa:

((sian syövä rehumäärä, kg x rehun fosforipitoisuus, kg P/kg rehua) – ((loppupaino – alkupaino) x 0,0055 kg fosforia kasvukiloa kohden)) / 0,617 (Poulsen, 2013).

8 Yhteenveto

Tarkasteltaessa typen ja fosforin käytön tehostamista sikojen ruokinnassa tarvitaan kokonaisvaltaista lähestymistapaa. Tässä raportissa esitellään ruokintamenetelmiä ja strategioita, joiden avulla sikojen rehun fosforin ja typen hyväksikäyttöä voidaan tehostaa ja ravinteiden erittymistä lantaan vähentää.

Sikojen ruokinnassa tulisi käyttää vaiheruokintaa, joka on tehokas keino lannan typpi- ja fosforipitoisuuden pienentämiseen. Lihasiikojen vaiheruokinnassa rehun ravintoainekoostumusta muutetaan sian kasvaessa, jolloin siat ruokitaan optimaalisesti iän, tuotantovaiheen, kasvunopeuden ja rehunmuuntosuhteen mukaan. Iän myötä sian punaisen lihan muodostus vähenee, rasvoittuminen lisääntyy ja syöntikyky kasvaa. Tällöin rehun valkuaispitoisuutta ja aminohappomääriä voidaan laskea energiayksikköä kohti niin, ettei sian kasvu kärsi.

Eläinten optimaalinen ruokinta ja ravintoaineiden tehokkaampi käyttö vaatii tarkkaa tietoa rehuaineen ravintoainepitoisuudesta ja esim. raakavalkuaisen aminohappokoostumuksesta. Sulavan fosforin pitoisuuden arviointiin tarvitaan tietoa fytaattifosforin ja luontaisen fytaasin määrästä rehuaineissa. Ajan tasalla oleva analyysitieto rehuaineen fosforipitoisuudesta ja fosforin sulavuudesta tulisi päivittää säännöllisesti rehutaulukoihin ja rehuoptimointiohjelmaan, jotta voitaisiin välttää fosforin ympäristöhaittoja aiheuttavaa ylimäärää tai sen puutetta rehussa. Tilalla tuotettujen rehuaineiden fosforipitoisuudet tulisi tarkistaa eräkohtaisesti ja analysoida niiden fosforipitoisuuksia. Kaikkien tärkeimpien rehuaineiden fosforin sulavuus tulisi määrittää tai käyttää ulkomaisten sulavuuskokeiden tai rehutaulukoiden sulavuusarvoja. Analyysien kemialliset määritysmenetelmät ja niiden antamat tulokset vaihtelevat, joten olisi tärkeää mainita mitä menetelmää analysoidaessa on käytetty.

Fosfori on eläimelle välttämätön kivennäisaine, jonka saanti rehusta on tärkeää eläimen tuotannolle ja terveydelle. Rehuaineissa (viljoissa ja siemenissä) on riittävästi fosforia, mutta se on suurimmaksi osaksi (70–80 %) sitoutuneena fytiinihappoon. Tämän vuoksi rehuihin lisättiin vuosikymmenien ajan mineraalifosfaattia (rehufosfaattia) riittävän fosforin saannin turvaamiseksi. Tämän seurauksena eläimet eivät enää kärsineet fosforin puutteesta, mutta suurin osa fosforista kulkeutui eläimen läpi lantaan. Fytaasientsyymi katalysoi reaktiota, jossa fytiinihappoon sidottua fosforia puretaan yksimahaisille eläimille käyttökelpoiseen fosfaattimuotoon. Monissa viljoissa on luontaista fytaasia (ohra, vehnä, ruisvehnä ja ruis), mutta luontainen fytaasi tuhoutuu helposti lämpökäsittelyssä, jolloin se täytyy korvata mikrobivalmisteisella fytaasilla. Myös mikrobifytaasi voi tuhoutua rehun prosessoinnissa. Fytaasivalmiste tulee lisätä siten, että se jakaantuu tasaisesti koko rehuannokseen. Fytaasivalmisteiden teho ja jakaantuminen rehuerässä prosessoinnin jälkeen on hyvä tarkistaa kemiallisella analyysillä. Jos fytaasiaktiivisuus on rehussa liian alhainen, odotettua vaikutusta ei saavuteta ja eläin kärsii fosforin puutteesta.

Eläimet tarvitsevat valkuaisista ja aminohappoja, joissa on tyypeä, kasvuun ja tuotantoon. Valkuaisen ja aminohappojen tarpeeseen vaikuttaa eläimen fysiologinen vaihe ja tuottavuus. Aikaisemmin eläin sai välttämättömät aminohapot ainoastaan rehuaineista. Yleisimpien rehuosien aminohappokoostumus poikkeaa kuitenkin sian optimaaliseen kasvuun ja hyvinvointiin tarvitsemasta ideaalivalkuisen aminohappokoostumuksesta. Viljapohjaisilla rehuilla ensimmäinen rajoittava aminohappo on lysiini. Seuraavia mahdollisesti rajoittavia aminohappoja ovat treoniini, rikkipitoiset aminohapot kystiini ja metioniini sekä tryptofaani riippuen viljalajista ja valkuaislähteistä. Jos rehussa ei käytetä puhtaita aminohappoja ja eläimen välttämättömien aminohappojen tarve täytetään valkuaisrehun avulla, rehun raakavalkuaispitoisuus nousee korkeaksi. Tällöin valkuisen hyväksikäyttöaste on alhaisempi ja osa tyypeistä päätyy lantaan. Soijaa ja muita valkuaisrehuja tuodaan Itämeren alueelle, koska paikallisesti tuotettujen valkuaisrehujen tuotanto ei riitä kattamaan lisääntyvän kotieläintuotannon tarvetta. Raakavalkuisen (ja soijan) määrää rehusa voidaan laskea, kun käytetään tehdasvalmisteisia puhtaita aminohappoja kuten lysiini, metioniini, treoniini ja tryptofaani. Suomessa on pulaa kotimaisesta rehuvalkuisesta ja sen vuoksi puhtaita aminohappoja käytetään jo yleisesti sikojen ruokinnassa. Tuontirehujen käytön vähentäminen ei ole vain avainparempaan typen ja fosforin hyväksikäyttöön, vaan sillä on merkitystä myös ammoniakkin ja kasvihuonekaasupäästöjen vähenemisen kautta.

Liemiiruokinta parantaa fosforin ja ilmeisesti myös valkuaisen hyväksikäyttöä, jolloin fosforin ja typen eritystä saadaan vähennettyä. Liemiiruokinnassa fytaasilla on enemmän aikaa irrottaa fosforia fytaatista imeytymistä varten. Liemiiruokinnan mahdollisuudet fosforin ja valkuaisen sulavuuden lisäämisessä tulisi selvittää ja käyttää hyväksi. Fosforin sulavuus on erilainen eri rehufosfaateissa, joten pitäisi käyttää valmisteita, joissa fosfori on mahdollisimman hyvin sulavaa. Sikojen fosforin ruokintasuositukset tulisi perustua käytettävissä olevaan fosforiin, eikä kokonaisfosforiin. Fosforisuositukset ovat erilaiset eri maissa ja on tärkeää, että näitä suosituksia tarkastellaan kriittisesti ja vertaillaan muiden maiden suosituksiin, jotta voidaan arvioida voidaanko suosituksia alentaa eläinten hyvinvointia vaarantamatta.

Rehuhyötysuhde kertoo, paljonko siat ovat käyttäneet rehua kasvattaakseen yhden lihakilon (kg rehua/kg kasvua). Pienempi (parempi) rehuhyötysuhde tarkoittaa siis, että kaikkia tuotantopanoksia (energiaa, valkuaista, fosforia jne.) tarvitaan vähemmän yhden kasvukilon tuottamiseen. Rehuhyötysuhdetta voidaan parantaa mm. jalostuksen ja optimaalisen ruokinnan avulla. Jalostustyö, joka tähtää eläimen rehuhyötysuhteen parantamiseen (kg rehua/kg kasvua) on tärkeä tekijä, jonka avulla voidaan lisätä ravinteiden ja energian hyväksikäyttöä. Monissa maissa se on osa jalostusohjelmaa. Rehun hyötysuhteen parantuessa, eläin tarvitsee vähemmän ravinteita/energiaa kasvaakseen ja tuottaakseen, joten samalla myös lannan määrä (ja lannan sisältämän typen ja fosforin määrä) vähenee. Ruokinnan ravinnetaselaskelmien avulla voidaan arvioida rehun sisältämän typen ja fosforin hyväksikäyttöä ruokinnassa.

9 Kirjallisuus

- Abioye, S., Ige D., Akinremi O., Nyachati M. & D. Flaten. 2010. Characterizing fecal and manure phosphorus from pigs fed Phytase supplemented diets. *Journal of Agricultural Science*, 4: 3-12.
- Blaabjerg, K., H. Jørgensen, A. H. Tauson & H. D. Poulsen. 2010. Heat-treatment, phytase and fermented liquid feeding affect the presence of inositol phosphates in ileal digesta and phosphorus digestibility in pigs fed a wheat and barley diet. *Animal* 4:876-885.
- Blaabjerg, K., H. Jørgensen, A. H. Tauson & H. D. Poulsen. 2011. The presence of inositol phosphates in gastric pig digesta is affected by time after feeding a non-fermented or fermented liquid wheat-barley based diet. *Journal of Animal Science* 89:3153–3162.
- Boisen, S. 2007. *In vitro* analyses for predicting standardised ileal digestibility of protein and amino acids in actual batches of feedstuffs and diets for pigs. *Livestock Science* 109:182-185.
- Cowieson, A. J., Bedford, M. R., Selle, P. H. & Ravindran, V. 2009. *Worlds Poultry Science Journal* 65:401–417.
- Dourmad, J. Y., Guingand, N., Latimer, P. & Séve, B. 1999. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: France. *Livestock Production Science* 58: 199-211.
- Eeckhout, W. & M. de Paepe 1994. Total phosphorus, phytate-phosphorus and phytase activity in plant feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology* 47:19–29.
- Estonian tables of chemical composition and feeding values of feedstuffs, 2004. Estonian Agricultural University, Institute of Animal Sciences, Tartu, OÜ Paar, 122 s. (eestiksi).
- EU direktiivi eläinten ruokinnassa käytettävistä lisäaineista 70/524/EEC.
- [EvaPig® Käyttäjän ohjekirja](#), [EvaPig® Yhtälöt ja kertoimet](#), [EvaPig®-ohjelman pikaopas](#)
- FASS, Federation of Animal Science Societies. 2001. Dietary Adjustments to Minimize Nutrient Excretion from Livestock and Poultry, January. <http://www.fass.org/facts/livestockpoultry.htm>
- Fernández, J. A., Poulsen, H. D., Boisen, S. & Rom, H. B. 1999. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: Denmark. *Livestock Production Science* 58: 225–2424.
- Kay, R. M. & Lee, P. A. 1997. The effect of offering low crude protein diets to pigs on slurry characteristics and the consequent emission of ammonia from pig buildings. *Proceedings of the British Society of Animal Science* 1997: 11.
- Ferket, P. R., E. van Heugten, T. A. T. G. van Kempen & R. Angel. 2002. Nutritional strategies to reduce environmental emissions from nonruminants. *Journal of Animal Science* 80 (E. Suppl. 2): E168-E182.
- Hansen-Møller, J., Tybirk, P. & Poulsen, H. D. 2007. Chemical assessment of phosphorus in feed varies to a great extent between Danish laboratories. The Agricultural Faculty, Aarhus University, Report DJF-Husdyrbrug no. 83, 56 s.
- Henriksen, J. C. S., Blaabjerg, K. & Poulsen, H. D. 2013. The effect of microbial phytase on the digestible phosphorus content depends on cereal source, inorganic phosphate addition, heat-treatment and experimental method (manuscript submitted).
- Johansen, K. & Poulsen, H. D. 2003. Substitution of inorganic phosphorus in pig diets by microbial phytase supplementation - a review. *Pig News & Information*, Vol. 24, No. 3.
- Karhapää, M., Partanen, K. & Ylivainio, K. 2009. Is phytase supplementation necessary when finishing pigs are fed diets that contain no monocalcium phosphate? Animal performance, bone strength, and environmental impact. 39 s. (Tutkimusraportti 14.12.2009).
- Lyberg, K., A. Simonsson & J. E. Lindberg. 2005. Influence of phosphorus level and soaking of food on phosphorus availability and performance in growing-finishing pigs. *Animal Science* 81:375–381.
- Lyberg, K., T. Lundh, C. Pedersen & J. E. Lindberg. 2006. Influence of soaking, fermentation and phytase supplementation on nutrient digestibility in pigs offered a grower diet based on wheat and barley. *Animal Science* 82:853–858.

- MTT, 2014. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. Jokioinen: MTT Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Viitattu 27.2.2014. Saatavissa internetistä: <http://www.mtt.fi/rehutaulukot> .
- NRC. 2012. Nutrient requirement of swine, 11th rev. Natl. Acad. Press. Washington, DC, USA.
- Nørgaard, J.V. 2012. Chapter 9: Dietary protein in pig nutrition. In: Nutritional physiology of pigs. Viitattu 27.2.2014. Saatavissa internetistä: http://vsp.lf.dk/Viden/Laerebog_fysiologi/Chapter%209.aspx
- Partanen K., Niemi J., Voutila L. & J. Valaja 2009. Lihasilalojen tuotannon seurannan kehittäminen, Tuotannon seuranta ja tilatutkimukset sianlihan tuotannon kehittämisen työkaluina, Sikatila-hanke, julkaisematon.
- Partanen, K. 2010. Fytaasin vaikutus kasviperäisten rehujen fosforin sulavuuteen sioilla. Viitattu 27.2.2014. Saatavissa internetistä: <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehutaulukot/Rehutaulukot/laskentaperusteet/8ED0C38DD297C32DE040A8C0023C4308>
- Partanen, K., Karhapää, M., Voutila, L., Ylivainio, K. 2010. Ruokinnan keinot sianlannan fosforipitoisuuden alentamiseksi. In: Toim. Anneli Hopponen. Maataloustieteen Päivät 2010, 12.–13.1.2010 Viikki, Helsinki: esitelmät, posterit. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 26: 7 p. [Uri] 11.1.2010
- Partanen, K., Yliaho, M. & Sippola, J. 2012. Emakoiden liemirehujen koostumus ja sen vaihtelu. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 28, 6 p. Maataloustieteen Päivät, Helsinki.
- Partanen K. 2013. Sianrehujen rehuarvojärjestelmät Pohjoismaissa: voiko rehuarvoja muuntaa järjestelmästä toiseen? Viitattu 27.2.2014. Saatavissa internetistä: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201401161149>
- Pfeiffer, A., Henkel, H., Verstegen, M. W. A. & Philipczyk, I., 1995: The influence of protein intake on water balance, flow rate and apparent digestibility of nutrients at the distal ileum in growing pigs. *Livestock Production Science*. 44(2): 179-187.
- Poulsen, H. D., Lund, P., Sehested, J., Hutchings, N. & Sommer, S. G., 2006. Quantification of nitrogen and phosphorus in manure in the Danish normative system. DIAS Report, *Plant Production* 123:105–107.
- Poulsen, H. D. 2007. Phosphorus availability in feed phosphates determined by regression. *Livestock Science*, 109:247–250.
- Poulsen, H. D. (ed.) 2013. Normtal for husdyrgødning, 32 s. Viitattu 30.6.2014. Saatavissa internetistä: http://anis.au.dk/fileadmin/DJF/Anis/Normtal_2013_2.pdf.
- Poulsen H. D, Kaasik A., Karhapää M., Schmid Henriksen J. C., Kiiver H., Kortelainen T., Sindhøj E. & Blaabje K. 2013a. Baltic Manure WP3 innovative Technologies for Manure Handling - Determine Feeding Strategies for Reducing P and N Content in Manure (Task 3): Knowledge report. 43 s. Viitattu 27.2.2014. Saatavissa internetistä: http://www.balticmanure.eu/download/Reports/feeding_report_final_web.pdf
- Poulsen, H. D., Tybirk, P., Blaabjerg, K. & Henriksen, J. C. C. 2013b. Evaluation of microbial phytases added in different doses to pig diets. (Manuscript in preparation to be submitted in December 2013).
- Saarela, M. & Partanen K. 2008. Sijojen ruokintamenetelmät, rehut ja ympäristökäsitelmiä. Tilakyselyn tulokset 2008 (julkaisematon).
- Siljander-Rasi, H. 2013. Rehujen koostumustietojen ja ruokintasuositusten päivitystarpeet. Viitattu 27.2.2014. Saatavissa internetistä: <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201401161148>.
- Selle, P. H., Ravindran, V., Caldwell, A. & Bryden, W. L. 2000. Phytate and phytase: consequences for protein utilization. *Nutrition Research Reviews* 13:255–278.
- Schiavon, S., Dal Maso, M., Cattani, M. & Tagliapietra, F., 2009. A simplified approach to calculate slurry production of growing pigs at farm level. *Italian Journal of Animal Science* 8:431-455.
- TIKE (Maa- ja metsätalousministeriön Tietopalvelukeskus): Viitattu 15.4.2014. Saatavissa internetistä: http://www.maataloustilastot.fi/maatilarekisteri-maatilojen-rakenne-2012_fi , <http://www.maataloustilastot.fi/kotielainten-lukumaara>, <http://www.maataloustilastot.fi/tilasto/2026>.
- Tybirk, P., Sloth, N. M. & Jørgensen, L. 2013. Normer for næringsstoffer. Videncenter for Svineproduktion, 10 s. Viitattu 16.4.2014. Saatavissa internetistä: <http://vsp.lf.dk>

- Valaja, J., Alaviuhkola, T., Suomi, K. 1993. Reducing crude protein content with supplementation of synthetic lysine and threonine in barley - rapeseed meal - pea diets for growing pigs. *Agricultural Science in Finland* 2: 117-123.
- van der Peet-Schwering, C.M.C., Jongbloed, A.W. & Aarnink, A.J.A. 1999. Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production: The Netherlands. *Livestock Production Science* 58: 213–224.

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

MTT RAPORTTI 149

www.mtt.fi/julkaisut

MTT Raportti -verkkojulkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

