

Riikliku programmi “Põllumajanduslikud
rakendusuringud ja arendustegevus
aastatel 2009–2014”

Eesti Maaülikool

**Söödaproteiini kasutamise efektiivsuse suurendamine ning
lämmastiku ekskretsiooni vähendamise võimalused erinevate
tehnoloogiatega (sh lüpsirobotiga) piimatootmise farmides**

Projekti juht: Ivi Jõudu
Projekti täitjad: Meelis Ots
Hanno Jaakson
Andres Olt (2011)
Aire Pentjärv (2014)

Tartu 2015

PROJEKTI LÕPPARUANNE

1. PROJEKTI NIMETUS: Söödaproteiini kasutamise efektiivsuse suurendamine ning lämmastiku ekskretsiooni vähendamise võimalused erinevate tehnoloogiatega (sh lüpsirobotiga) piimatootmise farmides

2. PROJEKTI NIMETUS INGLISE KEELES: Possibilities to increase the efficiency of protein fed, and to reduce nitrogen excretion, on dairy farms using different technologies, including robotic milking

3. PROJEKTI KESTUS

Algus: 2011

Lõpp: 2014

4. PROJEKTI LÕPPARUANDE LÜHIKOKKUVÕTE:

Projekti peamiseks eesmärgiks välja selgitada milline on erinevate söötamise süsteemide korral söödalavalt antava nii täisratsioonilise kui ka osaratsioonilise segasööda ning robotist (ja selvekünast nende olemasolul) antava jõusööda optimaalne proteiini kontsentratsioon ja selle allikad, millede aminohappeline koostis tagaks efektiivseima söödaproteiini kasutamise.

Eesmärgi täimiseks tehti projekti raames järgmist: 1) juurutati ja kohandati EMÜ VL söötmissakonna sööda ja ainevahetuse uurimise laboratooriumi tingimustele vastavad aminohapete määramise meetodid; 2) määrati Eestis enam kasutatavate proteiinsöötade keemiline, sh aminohappeline, koostis ja määrati nende toiteväärtus ning hinnati kvaliteeti (seedumata proteiini osatähtsust kogu proteiinist); 3) määrati vatsas lõhustumata söödaproteiini aminohappeline profiil ja aminohapete seeduvus peensooles ning selgitati Eestis kahe enamkasutatava proteiinsööda mõju lehmade piimajoudlusele; 4) täpsustati proteiini tarbe katmise seisukohast jõusööda koostamise põhimõtteid (töötati välja vastavad retseptid) nii TRSS-i kui ka robotlüpsiga farmides kasutatava ORSS-i ja lüpsirobotist ning selvekünast söödettava jõusööda kohta.

Projekti tulemusena tehti ja leiti järgmist:

1) Projekti raames juurutati bioloogilistest materjalidest (sööt, piim, veri) aminohapete määramise meetodid ja kohandati need EMÜ VL söötmissakonna sööda ja ainevahetuse uurimise laboratooriumi tingimustele.

2) Valdavaks proteiinsöödaks Eestis on rapsikook, mida toodetakse kohapeal või imporditakse, ja sojasrott. Vähem kasutatakse rapsisrotti, päevalillekooki ja –rotti, soja- ja linakooki, nisu- ja maisigluteensööda ning uba ja hernest. Projekti raames analüüsiti proteiinsöötade keemilist (sh aminohappelist) koostist ja arvutati nende toiteväärtus ning hinnati kvaliteeti.

3) Proteiinsöötade kvaliteeti peegeldab söödaproteiini lõhustumatus vatsas, mida väiksem see on seda suurem on sööda metaboliseeruva proteiini sisaldus. Vähem lõhustus kuumpressitud rapsikoogi, päevalillekooki, sojakoogi ja sojasrotti ning rohkem külmpressitud rapsi- ja linakooki ning oa ja herne proteiini. Söötade inkubatsioonijärgi aminohappeline koostis ei erinenud söötade aminohappelisest koostisest.

4) Proteiinsöötade kvaliteeti võib halvendada nende tootmise tehnoloogia, eeskätt termiline töötlemine. Ebaõigete tehnoloogiliste võtete kasutamise tulemuseks on küll vatsas vähelõhustuv, kuid peensooles seedumatu proteiiniga sööt. Lisaks sellele väheneb aminohapete, eeskätt lüsiini seeduvus peensooles. Proteiini kuumakahjustusi saab hinnata ADIP (happekius lahustumatu proteiin) meetodika abil. Kui see ületab 10 %, siis korrigeeritakse proteiinsööda orgaanilise aine seeduvust, metaboliseeruva energia- ja proteiinisisaldust ning vatsa proteiinibilanssi. Samuti tuuakse välja sööda korrigeeritud proteiinisisaldus. Seda on otstarbekas silmas pidada proteiinsöötade sh nii külmpressitud kui ka kuumtöödeldud rapsikoogi ostmisel ja kasutamisel.

5) Proteiinsöötade aminohapete seeduvus kogu seedetraktis (vats + peensool) varieerus 91,1-98,8%, väiksem oli see rapsikoogis ja suurim sojasrotis. Arvestades vatsas mittelõhustuvate ja peensooles seeduvate aminohapetega kulub piimatootmiseks vajaminevate aminohapete tarbe katmiseks kõige vähem sojasrotti ja –kooki ning kuumpressitud rapsikooki, samas külmpressitud rapsi- ja linakooki kulub rohkem.

6) Võrreldes omavahel kuumpressitud rapsikoogi ja sojasroti mõju piimatoodangule selgus, et kuigi metaboliseeruva proteiini söömus oli suurem sojasrotiga söödettud lehmadel, ei väljendanud see piimajoudluses. Rapsikoogiga söödettud lehmade piimavalgu sisaldus (3,08 % versus 2,97 %) ja toodang (0,978 kg versus 0,937 kg) olid oluliselt ($P < 0,05$) suuremad kui sojasrotiga söödettud lehmadel. Söödaratsiooni aminohapete

konversioon toodangu aminohapeteks oli rapsikooki söönud lehmadel oluliselt ($P < 0,005$) suurem kui sojasrotti söönud lehmadel (52,9 % *versus* 48,1 %). Rapsikooki söönud lehmad kasutasid peensooles imendunud aminohappeid ära efektiivsemalt, mistõttu neid eritati vähem keskkonda tagasi.

7) Söödaratsioonides kasutatava proteiiniallika osatähtsuse määrab ära koresööda proteiinisaldus. Kui see on väikse (13 % kuivaines) peab lehmade jõusöödasegu proteiinisaldus olema suurem (22 % kuivaines) ehk sisaldama rohkem proteiinsööta. Proteiinirikka põhisooda korral saame hakkama väiksema proteiinsööda kogusega ja jõusöödasegu ning põhisooda proteiinisaldus võivad olla võrdsed, näiteks võiksid mõlemad sisaldada ca 17 % proteiini kuivaines.

8) Maisisilo kasutamisel söödaratsioonides, tuleb loomade proteiinitarbe katmiseks lisaks õlikoogile (tavaliselt kuumtöödeldud rapsikoogile) söödaratsiooni lisada mõnda muud proteiinsööta (tavaliselt sojasrotti). Õlikoogi kasutamise kogust söödaratsioonis piirab selle toorrasvasisaldus.

9) Osaratsioonilise segasööda proteiinisaldus peaks olema orienteeruvalt 150 g/kg kuivaines. Kui suuretoodanguliste lehmade proteiini- ja energiatarvet on võimalik katta robotist antava jõusöödaga, siis madalama toodanguga lehmad omavad kõrge söödaratsiooni proteiinisalduse korral veel potentsiaali säilitada toodangut laktatsiooni lõpuni, mistõttu nad ei rasvu nii kiiresti.

10) Suure proteiinisaldusega rohusilo kasutamise korral jääb piimavalgu sünteesil puudu aminohapest histidiin, sest proteiinsöödate lisamist söödaratsiooni piirab liialt suur lõhustuva proteiini hulk vatsas. Rohusilo optimaalseks proteiinisalduseks tuleb lugeda 14...15% kuivaines. Suurema rohusilo proteiinisalduse korral tuleks seda kasutada koos siloga, mis sisaldab vähem proteiini, sh maisisilo.

5. LÜHIKOKKUVÕTE INGLISE KEELES:

The main objectives of the project were to clarify: the optimum concentration of protein in the concentrate feed offered at the robotic milker and in the mixed ration at the feed barrier, the optimum protein sources for feeds, and the composition of amino acids to ensure the most efficient use of the protein feed.

Actions to meet the objectives of the project, there were: 1) methods developed for the identification and quantification of amino acids in biological materials and these were adapted for the use in the conditions at the laboratory of feed analysis and metabolism (EMÜ VL Department of Animal Nutrition); 2) clarified chemical, including amino acid, composition of protein feed used in Estonia and their nutritional value and quality (proportion of non-digestible protein) were determined; 3) the amino acid composition of undegradable protein in protein feed used in Estonia determined, as was digestibility of amino acids in the small intestine, and the effects of the two main protein feeds used in Estonia on milk performance were clarified; 4) concentrate feed recipes were specified to ensure that protein provided can cover requirements on farms using different milking and feeding systems.

Conclusions as a result of the project:

1) Methods for the identification and quantification of amino acids in biological materials (feed, milk and blood) were developed, using a HPLC system after protein isolation, hydrolysis and derivatization, and these were adapted to suit the conditions at the laboratory of feed analysis and metabolism (EMÜ VL Department of Animal Nutrition).

2) The main protein feeds used in Estonia were heat-treated rapeseed cake (locally produced or imported), and soya bean meal. To a smaller extent, cold-pressed rapeseed cake and meal, sunflower cake and meal, soya bean and linseed cake, wheat and maize gluten feed were also used. Organic farms used peas and beans as organic-alternative protein feeds. In the framework of the project protein feed chemical compositions were analysed (including amino acid contents) and their nutritional values were calculated.

3) Protein degradation in the rumen characterises the protein quality of feeds. A lower degradability of crude protein in the rumen indicates a higher content of metabolisable protein. The degradability of crude protein in the rumen was lower for heat-treated rapeseed and sunflower cakes and soya bean meal and cake, and was higher for beans, peas, and cold-pressed rapeseed and linseed cakes. Amino acid profiles of the protein feeds and of rumen non-degradable residues did not significantly differ.

4) Production method, especially temperature treatment, of protein feeds can lower their quality. Use of incorrect production methods did not affect protein degradation in the rumen, but may result in a higher proportion of non-digestible protein. In addition, this causes a reduction in lysine digestibility in the small intestine. Negative consequences of incorrect temperature treatment of protein feeds could be evaluated by measuring the acid-detergent insoluble protein (ADIP) content. If this is higher than 10%, then the organic matter digestibility should be correct, as should contents of metabolisable energy and protein, protein balance in the rumen and also the crude protein content. This should be taken into account when using both cold-pressed or heat-treated rape seed cakes.

5) Digestibility of protein feeds in the digestive tract (rumen + small intestine) varied from 91.1 to 98.8%. This was least for rapeseed cake and highest for soya bean meal. If the amounts of rumen undegradable amino acids that are absorbed in the small intestine are taken into account, then to cover the amino acid requirements for milk production smaller amounts of soya bean meal and cake and heat treated rape seed cake are required, but cold-pressed rapeseed

and linseed cakes are needed in larger amounts.

6) Comparing heat-treated rapeseed cake and soya bean meal, higher intakes of metabolisable protein when cows were fed with soya bean meal were found, but these were not reflected in higher milk production. Cows fed with heat-treated rapeseed cake had significantly ($P < 0.05$) higher milk protein content (3.08 *versus* 2.97 %) and protein daily yield (0.978 *versus* 0.937 kg) than when cows were fed with soya bean meal. Conversion of ration amino acids to milk amino acids was significantly ($P < 0.05$) more efficient when cows were fed with heat-treated rapeseed cake than when cows were fed with soya bean meal (52.9 *versus* 48.1 %). This was also confirmed by the amino acids balance calculated on the bases of the trial data. On account of the more efficient use of amino acids, absorbed in small intestine, cows fed with heat-treated rapeseed cake excreted less of them back into the environment.

7) The percentage of protein feed in rations is determined by the protein content in roughage. If it is small (13% of crude protein in DM), then the protein content in the concentrate mixture should be higher (22% in DM), and it should contain more protein feed. If the silage contains more protein, then the amount of protein feed added to concentrate can be smaller, and the protein contents of the silage and the concentrate can be equal, for example 17% crude protein in DM of silage and concentrate.

8) In order to cover the protein requirements in rations containing maize silage, additional oilcake (usually heat-treated rapeseed cake) and soybean meal should be included in the rations. The amount of oilcake to be added is limited by the amount of crude fat it contains.

9) The crude protein content of the non-complete total mixed ration should be approximately 150 g/kg DM. The protein and energy requirements for cows with higher production are possible to be covered with additional concentrate offered from the feeders at the robotic milker. And because cows with lower production levels had the potential to retain production to the end of lactation, if the ration contained a higher protein content, they do not fatten so fast.

10) When grass silage with high protein content was used in the rations the histidine requirements for milk protein synthesis could not be covered, because increasing protein-rich feeds in the diets is limited by the high amount of rumen-degradable protein. Therefore the optimal protein content for grass silage should be 14-15 % DM. If the grass silage has a higher protein content it should be mixed with a silage containing less protein, such as maize silage. If lower, additional concentrate protein should be offered.

6. TEEMA RAAMES ILMUNUD PUBLIKATSIOONID:

Tiina Rodim, 2011. Söödaratsiooni proteiiniallikate mõju kiu seedele vatsas. Magistritöö, Tartu, 64 lk.

Jõudu, Ivi (2011). Piima laapumisomadused - ülevaade EMÜs läbiviidud uuringutest. Kärt, Olav (Toim.). Uurimistulemusi ja seisukohti piimalehmade söötmisel (154 - 169). Eesti Maaülikool

Kass, Marko; Kaldmäe, Helgi; Ots, Meelis; Arney, David; Kärt, Olav. (2011). Evaluation of the Quality and Degradability of Rapeseed Cake Protein. In: Proceedings of the 13th International Rapeseed Congress : 13th International Rapeseed Congress, Prague, 05.-09.06.2011. Prague, Czech Republic: SPZO s.r.o., 2011, 426 - 429.

Kärt, Olav; Rihma, Eve; Olt, Andres; Ots, Meelis; Samarütel, Jaak; Kaldmäe, Helgi (2011). Praktilisi soovitusi täisratsioonilisel segasöödal baseeruva söötmissüsteemia rakendamiseks. Uurimistulemusi ja seisukohti piimalehmade söötmisel, 84 - 87.

Harzia, H.; Kilk, K.; Jõudu, I.; Henno, M.; Kärt, O.; Soomets, U. (2012). Comparison of the metabolic profiles of noncoagulating and coagulating bovine milk. Journal of Dairy Science, 95(2), 533 - 544.

Jõudu, Ivi; Henno, Merike; Ots, Meelis; Harzia, Hedi; Värvi, Sirje; Vallas, Mirjam (2012). Review of studies concerning milk rennet coagulation properties in Estonia during last decade. 7th Baltic Conference on Food Science and Technology, Foodbalt-2012, "innovative and Healthy Food for Consumers", Kaunas, May 17-18, 2012. Kaunas Technology University, 2012, 77 - 77.

Jõudu, Ivi; Jaakson, Hanno; Henno, Merike; Harzia, Hedi; Ots, Meelis. (2012). Effect of dietary cation-anion difference on milk rennet coagulation properties. In: International Scientific Conference "Physiology of Livestock" Programme and Abstracts: International Scientific Conference "Physiology of Livestock", Lithuanian University of Health Science Veterinary Academy, Kaunas, 27-28.09.2012. Lithuanian Veterinary Academy, 2012, 29 - 30.

Kass, Marko; Ariko, Tiia; Kaart, Tanel; Rihma, Eve; Ots, Meelis; Arney, David; Kärt, Olav (2012). Effect of replacement of barley meal with crude glycerol on lactation performance of primiparous dairy cows fed a grass silage-based diet. Livestock Science, 150(1-3), 240 - 247.

Kass, Marko; Ariko, Tiia; Ots, Meelis; Arney, David; Kärt, Olav (2012). Effect of oral glycerol on the lactation performance of dairy cows in postpartum period. Allan Kaasik (Toim.). Dairy production in modern loose housing cowsheds - Practical implications and future challenges. NJF seminar no 439. May 2-4, 2012, Tartu, Estonia. Proceedings of abstracts (46). Eesti Maaülikool

Kass, Marko; Leming, Ragnar; Kaldmäe, Helgi; Ots, Meelis (2012). The use of rapeseed cake in ruminant nutrition in Estonia. D. Gurauskiene, D. Ruzgiene, P. Matusevicius, H. Jeroch (Toim.). Innovations of rape seed cultivation and use (40 - 46). Kedainiai, Lithuania: Akademija Lietuva

Vallas, M.; Kaart, T.; Värvi, S.; Pärna, K.; Jõudu, I.; Viinalass, H.; Pärna, E. (2012). Composite β - κ -casein genotypes and their effect on composition and coagulation of milk from Estonian Holstein cows. Journal of Dairy Science, 95(11), 6760 - 6769.

Kaldmäe, Helgi; Kass, Marko; Leming, Ragnar; Ots, Meelis (2013). Kuumtöötlemise mõju rapsikoogi proteiini kvaliteedile. Agraarteadus : journal of agricultural science : Akadeemilise Põllumajanduse Seltsi väljaanne, XXIV(1), 3 - 6.

Harzia, Hedi; Kilk, Kalle; Ariko, Tiia; Kass, Marko; Soomets, Ursel; Jõudu, Ivi; Kaart, Tanel; Arney, David; Kärt, Olav; Ots, Meelis (2013). Crude glycerol as a glycogenic precursor in feed: effects on milk coagulation properties and metabolic profiles of dairy cows. Journal of Dairy Research , 80(02), 190 - 196.

Kass, Marko; Ariko, Tiia; Samarütel, Jaak; Ling, Katri; Jaakson, Hanno; Kaart, Tanel; Arney, David; Kärt, Olav; Ots, Meelis (2013). Long-term oral drenching of crude glycerol to primiparous dairy cows in early lactation. Animal Feed Science and Technology, 184(1-4), 58 - 66.

Kaldmäe, Helgi; Olt, Andres; Leming, Ragnar; Ots, Meelis (2014). Rohu- ja maisisilode mükotoksiinidega saastatus Eestis. Agraarteadus, XXV(1), 23 - 29.

Kaldmäe, Helgi; Olt, Andres; Ots, Meelis (2014). Mycotoxin contamination in high moisture and dried cereals. In: NJF 478 Nordic-Baltic Fusarium seminar: Nordic-Baltic Fusarium seminar 18-19 november 2014, Helsinki Finland. (Toim.) Päivi Parikka; Veli Hietaniemi, Arja Laitila, Marjo Segerstedt. Turku, Finland, 2014, 39 - 39.

Luhter Kadri, 2014. Proteiini ja tärklise kaitsmise võimalused mäletsejalist söötmisel. Magistritöö, Tartu, 41 lk.

Leming, Ragnar; Kaldmäe, Helgi; Ots, Meelis (2015). Maheloomakasvatustes kasutatavate kohalike proteiinisöötade keemiline koostis ja proteiini lõhustuvus vatsas. In: Terve loom ja tervislik toit: Terve loom ja tervislik toit 2015, Tartu. (Toim.) M.Kass., 58 - 62.

Ots, Meelis; Jõudu, Ivi; Kaldmäe, Helgi; Kärt, Olav (2015). Proteiinisöödad lüpsilehmade söödaratsioonis. In: Terve loom ja tervislik toit: Terve loom ja tervislik toit 2015, Tartu. (Toim.) M.Kass., 52 - 57.

| | | |
|---|-----------------|-----------------|
| Projekti juht (ees- ja perekonnanimi): Ivi Jõudu | Allkiri: | Kuupäev: |
| Taotleja esindaja kinnitus aruande õigsuse kohta (ees- ja perekonnanimi): Andres Aland | Allkiri: | Kuupäev: |

Projekti lõpparuande täitmise juhend on kättesaadav Põllumajandusministeeriumi koduleheküljel <http://www.agri.ee>

Sissejuhatus

Mäletsejalistest on söödaproteiini konversiooni efektiivsus suurim piimalehmadel, olles keskmiselt 25% ja varieerudes olenevalt söödaratsioonidest 15-40% (Kohn jt., 2005; Huhtanen ja Hristov, 2009). Sellest tulenevalt pööratakse arenenud piimakarja kasvatuses riikides lüpsilehmade söödaratsioonides proteiinisaldusele ja proteiini efektiivsemale kasutamisele suurt tähelepanu. Üheltpoolt väärtustavad tarbijad ja piimatööstused valgurikkamat piima, kuid teisalt on proteiinsöödad ühed kallimad söödaratsiooni koostisosad, mille ebaefektiivne kasutamine vähendab tootmise tulukust. Vähem olulised ei ole siinjuures keskkonnakaitse ning loomade tervise ja heaoluga seotud aspektid.

Koos piimatoodangu suurenemisega on muutunud keerulisemaks lehmade proteiinitarbe katmine. Mõnevõrra lihtsam on see täisratsioonilise segasöödaga (TRSS) söötes, keerulisem aga robotlüpsiga farmides kus osaratsioonilisele segasöödale (ORSS) söödetakse lisaks jõusööta kas ainult lüpsirobotist või ka selvekünast. Mõlema söötmissüsteemi juures on aga olulisem loomade varustamine piisava koguse ja õiges vahekorras aminohapetega. Metaboliseeruv proteiin näitab söötades peensooles imendunud aminohapete summat (Kärt jt., 2002), kuid mitte profiili. Lehmade piimavalgu sünteesi geneetilise potentsiaali realiseerimiseks peab udaras olema piisavas koguses ja õiges vahekorras aminohappeid, sest valku sünteesitakse täpselt niipalju kui palju on seal esimest limiteerivat aminohapet. Piimavalgu sünteesiks kasutatavad aminohapped pärinevad suuretoodangulistel lehmadel keskmiselt 60% ulatuses mikroobsest proteiinist, 30% söödast ja 10% kehavalkude katabolismi käigus vabanenud aminohapetest. Mikroobse proteiini sünteesi efektiivsus tagatakse üldjuhul vatsas vabanenud energia ja lõhustuva proteiini sünkroonse vabanemisega ja seda peegeldab ratsiooni vatsa proteiinibilanss. Samas, mida suurem on lehmade piimatoodang, seda enam peab ratsioonis olema vatsas vähelõhustuvaid, kuid peensooles seeduvaid proteiinsöötasid (NRC, 1989). Seega on piimavalgu sünteesil oluline roll nii mikroobse proteiini kui vatsas mööduva söödaproteiini aminohapetel.

Eeltoodust lähtudes oli antud projekti peamiseks eesmärgiks välja selgitada milline on erinevate söötmissüsteemide korral söödalavalt antava nii täisratsioonilise kui ka osaratsioonilise segasööda ning robotist (ja selvekünast nende olemasolul) antava jõusööda optimaalne proteiini kontsentratsioon ja selle allikad, millede aminohappeline koostis tagaks efektiivseima söödaproteiini kasutamise.

Eesmärgi täimiseks tehti projekti raames järgmist: 1) juurutati ja kohandati EMÜ VL söötmissosakonna sööda ja ainevahetuse uurimise laboratooriumi tingimustele vastavad aminohapete määramise meetodid; 2) määrati Eestis enam kasutatavate proteiinsöötade keemiline, sh aminohappeline, koostis ja arvutati nende toiteväärtus ja hinnati kvaliteeti (sh seedumata proteiini osatähtsust kogu proteiinist); 3) määrati vatsas lõhustumata söödaproteiini aminohappeline profiil ja aminohapete seeduvus peensooles ning selgitati Eestis kahe enamkasutatava proteiinsööda mõju lehmade piimajõudlusele; 4) täpsustati proteiini tarbe katmise seisukohast jõusööda koostamise põhimõtteid (töötati välja vastavad retseptid) nii TRSS-i kui ka robotlüpsiga farmides kasutatava ORSS-i ja lüpsirobotist ning selvekünast söödetava jõusööda kohta.

1. Aminohapete määramise meetodikad

Kuivõrd projekti edukaks täitmiseks oli vajalik aminohapete määramise võimekus (aparatuur) erinevatest bioloogilistest materjalidest olemas, keskendutigi projekti algul aminohapete määramise meetodikate juurutamisele ja EMÜ VL söötmise osakonna sööda ja ainevahetuse uurimise laboratooriumi tingimustele kohandamisele.

1.1. Aminohapete va trüptofaani määramismetoodika

Aminohapete va trüptofaani määramismetoodikaga on seotud järgmised etapid: proovi ettevalmistamine, valkude hüdrolüüs (va veri, kus on määrava tähtsusega vabad aminohapped), aminohapete derivatiseerimine, derivaatide kromatograafiline eraldamine ja derivaatide kvantifitseerimine.

Proovide ettevalmistamine. Valkude hüdrolüüsi segab eeskätt süsivesikute, aga ka rasvade juuresolek ja seetõttu tuleb need proovi ettevalmistamise käigus valkudest eraldada. Valkude hüdrolüüs toimub temperatuuril üle 100°C ja sellel temperatuuril hakkab toimuma Maillard'i reaktsioon, mille käigus seostuvad aminohapped (eeskätt lüsiin ja histidiin) pöördumatult redutseerivate suhkrutega (toimub valkude denatureerumine). Selle vältimiseks on kolm võimalust: 1. hüdrolüüs viiakse läbi inertgaasi keskkonnas (pole eriti efektiivne Maillard'i reaktsiooni takistamiseks), 2. vaakumis või 3. kasutatakse analüüsiks proovist isoleeritud proteiini. Meie valisime kolmanda võimaluse, kuivõrd seda peetakse kirjanduse (Megias jt., 2007; Gallegos-Tintore jt., 2011) andmetel parimaks Maillard'i reaktsiooni takistavaks võimaluseks.

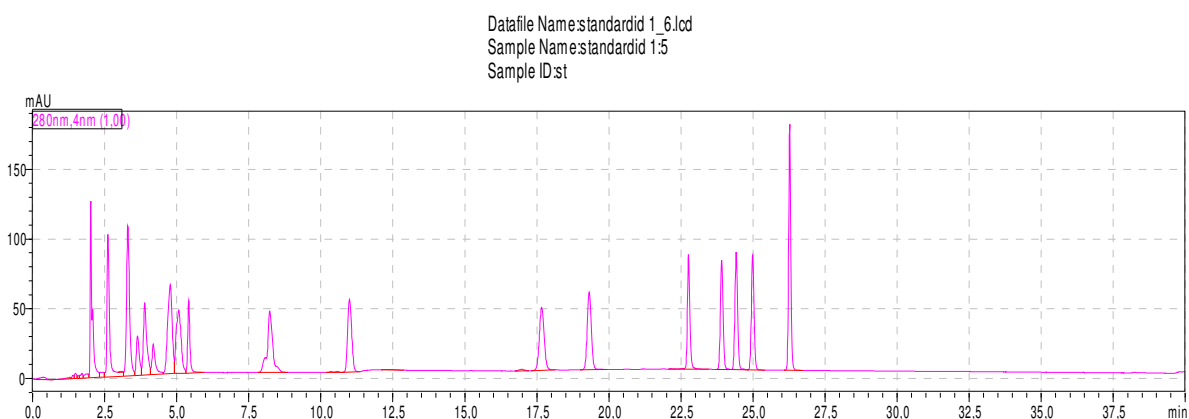
Rasv eraldatakse peeneks jahvatatud proovist petrooleetri või heksaaniga ekstraheerides, kasutades Soxhlet seadet. Piimast rasva eraldamiseks võib kasutada ka tsentrifuugimist (3000g, 15 min). Seejärel lahustatakse proov vees (1:10) ja lahuse pH viiakse 10 juurde kasutades 1M NaOH, segatakse 50°C juures 1 tunni vältel ning tsentrifuugimisel (3000g, 15 min) eraldatakse lahustumatu osa. Valkude sadestamiseks viiakse supernatandi pH valgu isoelektrilisse punkti (4,1) kasutades 1M HCl. Antud segu segatakse 50°C juures 30-60 min. Sadenenud valgud eraldatakse tsentrifuugimisel (8000g, 15 min). Sade kuivatatakse ning säilitatakse edasisteks analüüsideks sügavkülmutatult.

Valkude hüdrolüüs. Valkude hüdrolüüsiks kasutatakse 6M HCl mis sisaldab 1 g/L fenooli. Hüdrolüüs viiakse läbi 110°C juures 22-24 tunni vältel. Hüdrolüüsi lõppedes jahutatakse proov kiiresti ning neutraliseeritakse. Aminohapete sisalduse määramiseks verest kasutatakse plasmat, millest valgud eraldatakse 12 % trikloroäädikhappega sadestades (15 min) ning tsentrifuugimisel (15000g, 15 min, 4°C).

Aminohapete derivatiseerimine. Derivatiseerimiseks kasutatakse dietüületoksümetüleenmalonaati (DEEMM), mille derivaadid on aminohapetega märgatavamalt püsivamad kui enim kasutatud OPA (o-ftaalaldehüüd) või FMOC (9-florenüülmetüül klorometanaat) derivaadid. Ka on kemikaalide kulu märgatavalt väiksem, sest derivatiseerimissegude lahuseid ei pea igapäevaselt uuendama. Hüdrolüüsitud proovide derivatiseerimiseks lisati 1 ml proovile 1,5 ml metanooli, 3,5 ml boraat puhverlahust (0,75M, pH 9,0) ning 30 µl DEEMM-i. Derivatiseerimine oli täielik 24 tunni möödumisel. Selle aja jooksul hoiti proove toatemperatuuril otsese valguse eest kaitstult. Derivaadid on stabiilsed, ilma olulise (< 0,5 %) lagunemiseta 48 tunni kestel kui proove säilitatakse jahutatult. Enne kromatograafilist analüüsi filtreeritakse proovid läbi 0,45 µm tselluloos-atsetaat filtri.

Derivaatide kromatograafilise eraldamine. Kromatograafiliseks analüüsiks kasutati Shimadzu HPLC süsteemi, mis koosnes degasaatorist, binaarpumbast, automaatselt proovisisestajast, kolonnitermostaadist ja fotodiodide rea detektorist (PDA). Kromatograafilise analüüsi teostamiseks kasutati pöördfaasi kolonni Kinetex C18 100Å (4,6 mm x 150mm, 2,6 µm) ning eluentidena atsetonitriili (A) ja ammooniumatsetaat puhverlahust (1 mM, pH 3,2), mis sisaldas 0,1 % sipelghapet (B). Voolutuseks kasutati järgnevat A eluendi gradienti: 0-12 min, 20-25 %; 12-20 min, 25 %; 20-40 min, 25-60 % voolutuskiirusel 1 ml/min. Süstiti 5 µl proovi, kolonni temperatuur hoiti 40°C juures ning detekteeriti 280 nm juures.

Derivaatide kvantifitseerimine. Kvantifitseerimiseks kasutati erinevatel lahjendustel aminohapete standardlahustega kalibreerimist. Alljärgnevalt on esitatud aminohapete standardi kromatogramm (joonis 1) ja retentsiooniajad koos kromatogrammi pindala ja kõrgusega (tabel 1). Kuigi kasutatud aminohapete standardis olid eri aminohapete kontsentratsioonid samad, oli tundlikus erinev, st osadel aminohapete derivaatidel on sama kontsentratsiooni juures suurem (Gly, Lys) ja osadel väiksem (Asp, Glu) piigi pindala. Seega tuleb iga piik eraldi kalibreerida.



Joonis 1. Aminohapete standardi (Sigma AA-S-18) kromatogramm.

Tabel 1. Aminohapete retentsiooniajad ja tundlikkused.

| Aminohape | Retentsiooni aeg, min | Kromatogrammi | | Pindala, % | Kontsentratsioon mM/ml |
|---------------|-----------------------|---------------|--------|------------|------------------------|
| | | pindala | kõrgus | | |
| Histidiin | 2,010 | 2899104 | 709957 | 5,733 | 2,50 |
| Arginiin | 2,544 | 2882676 | 495243 | 5,700 | 2,50 |
| Seriin | 3,586 | 2922705 | 288317 | 5,780 | 2,50 |
| Aspargiinhape | 4,055 | 1138788 | 195327 | 2,252 | 2,50 |
| Glutamiinhape | 4,164 | 1828846 | 228514 | 3,616 | 2,50 |
| Treoniin | 4,734 | 2814918 | 266197 | 5,566 | 2,50 |
| Glütsiin | 5,033 | 5724114 | 471856 | 11,32 | 2,50 |
| Alaniin | 5,399 | 1438867 | 256844 | 2,845 | 2,50 |
| Proliin | 8,226 | 3014569 | 317802 | 5,961 | 2,50 |
| Türosiin | 11,001 | 2841418 | 315490 | 5,619 | 2,50 |
| Metioniin | 17,647 | 2891078 | 250558 | 5,717 | 2,50 |
| Valiin | 19,305 | 2946218 | 315650 | 5,826 | 2,50 |
| Tsüsteiine | 22,739 | 2740240 | 422834 | 5,419 | 1,25 |
| Fenüülalaniin | 23,904 | 2759708 | 423662 | 5,457 | 2,50 |
| Isoleutsiin | 24,412 | 3011625 | 457121 | 5,955 | 2,50 |
| Leutsiin | 24,983 | 2870068 | 446539 | 5,675 | 2,50 |
| Lüsiin | 26,268 | 5072122 | 926603 | 10,03 | 2,50 |

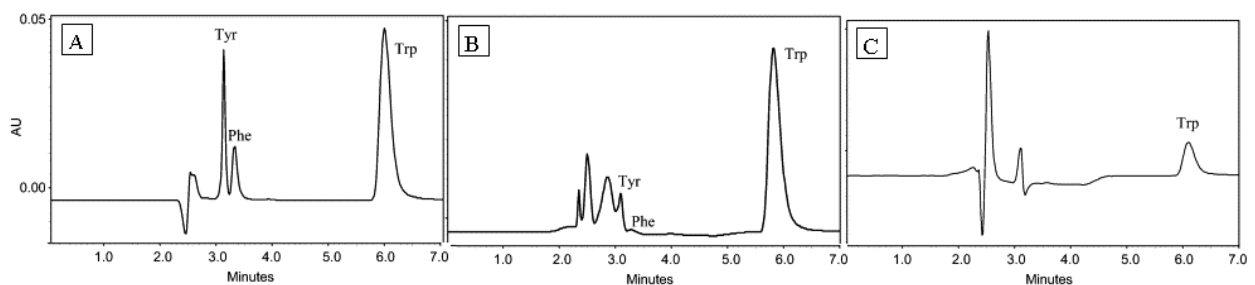
1.2. Trüptofaani määramismetoodika

Kuna valkude happeline hüdrolüüs proovide ettevalmistamise käigus toob kaasa trüptofaani oksüdatsiooni ja lagunemise, siis töötati välja meetodika trüptofaani (Trp) määramiseks kasutades aluselist hüdrolüüsi. Antud meetodika väljatöötamisel lähtuti Yust jt. (2004) meetodikast. Analüüs koosneb järgnevatest etappidest: aluseline hüdrolüüs, neutraliseerimine ning lahjendamine puhverlahusega, kromatograafiline lahutamine ja kvantifitseerimine.

Hüdrolüüsiks lahustatakse proov või proovist isoleeritud valk (2-10 mg) 5 ml-s 4M NaOH lahuses ning inkubeeritakse 110°C juures 4 tundi. Seejärel hüdrolüsaat jahutatakse, neutraliseeritakse (pH 7) kasutades kontsentreeritud soolhapet ning lahjendatakse kuni 25 ml-ni kasutades 1M naatriumboraat puhverlahust (pH 9). Trüptofaani standardlahust (0,51 mg/ml Trp) käideldi eeltötluse käigus samal viisil kui proove, aga täiendavalt tehti lahjendused 1:5 ja 1:10 hilisema kvantifitseerimise tarbeks. Enne proovide ja standardlahuste kromatograafilist analüüsi filtreeriti proovid läbi 0,45 µm tselluloos-atsetaat filtri. Antud proovi ettevalmistusviis võimaldab võrreldes standardmeetodikaga (EVS-EN ISO 13904:2005) märgatavalt kokku hoida nii ajas (4 h versus 20 h) kui ka kasutatavate kemikaalide kogustes, samas analüüsi täpsust vähendamata.

Kromatograafiliseks lahutamiseks kasutati pöördfaasi kolonni Kinetex C18 100Å (4,6 mm x 150 mm, 2,6 µm) ning eluentide atsetonitriili (A) ja naatriumatsetaat puhverlahust (25mM, pH 6), mis sisaldas 0,02 % naatriumasiidi (B) isokraatilisel (9:91, vastavalt A:B) voolutamisel voolutuskiirusel 0,9 ml/min. Süstiti 20 µl proovi või standardlahuseid, kolonni temperatuur hoiti 40°C juures ning detekteeriti 280 nm juures.

Lisaks trüptofaanile neelavad valgust 280 nm juures ka türosiin ja fenüülalaniin. Antud analüüsitingimuste juures erinevad viimati nimetatud aminohapete retentsiooniajad trüptofaanist (joonis 2A), lisaks lagunevad nad suures osas aluselise hüdrolüüsi käigus (joonis 2B, C). Meetodi korratavuse saab lugeda heaks, kuna paralleelproovide variatsioonikoefitsient jäi väiksemaks kui 2 %.



Joonis 2. Türosiini (Tyr), fenüülalaniini (Phe) ja trüptofaani (Trp) võrdestes kogustes segu kromatogrammide ilma eelneva hüdrolüüsita (A), peale aluselist hüdrolüüsi (B). Rapsikoogi kromatogramm peale aluselist hüdrolüüsi (C)

2. Eestis enam kasutatavate proteiinsöötade keemiline (sh aminohappeline) koostis, toiteväärtus ja kvaliteet

Projekti raames uuriti milliseid proteiinsöötasid kasutatakse Eesti erinevates piimalehmi pidavates farmides. Selleks kasutasime andmeid nii tarnijatelt (n=6), farmidest (n=25) kui EMÜ VL söötmise osakonna sööda ja ainevahetuse uurimise laboratooriumist. Lisaks uurisime proteiinsöötade keemilist koostist (sh aminohappelise koostist), toiteväärtust ja kvaliteeti (seedumatu proteiini osatähtsust kogu proteiinist).

Valdavaks proteiinsöödaks Eesti piimafarmides on rapsikook, mis on Eesti päritolu või imporditakse (Läti, Venemaa, Valgevene, Ukraina). Sojasroti laialdast kasutamist piirab selle hind. Viimast kasutatakse peamiselt maisisilo olemasolul, et katta lisaks rapsikoogile suuretoodanguliste lehmade proteiinitarvet. Väga vähesel määral kasutatakse rapsisrotti, päevalillekooki ja -srotti, soja- ja linakooki ning nisu- ja maisigluteen sööta. Mahefarmides kasutatakse alternatiivsete proteiiniainetena kaunvilju (uba ja hernest).

2.1. Proteiinsöötade keemiline, sh aminohappeline koostis.

Vaatluse all oli kümme proteiinsööta (tabel 2). Põldherne ja -oa puhul uuriti nii töötlemata kui ka kuumtöödeldud (20 min, 130 °C) seemnete keemilist koostist ja toiteväärtust. Suurim proteiinisaldus oli sojasrottil, järgnesid soja-, lina- ja kuumpressitud rapsikook. Väiksem proteiinisaldus oli külmpressitud rapsikoogis ja põldhernes. Metaboliseeruvat proteiini oli enam sojal baseeruvates proteiinsöötades, kõige vähem aga külmpressitud rapsikoogis. Proteiinsöötade metaboliseeruva energiasaldus sõltub suuresti söötade toorrasvasisaldusest aga ka proteiini ja lämmastikuta ekstraktiivainete sisaldusest. Energiarikkaim on linakook ja energia vaesem aga päevalillekook.

Tabel 2. Eestis kasutatavate proteiinsöötade keskmine koostis ja toiteväärtus

| Näitaja | Rapsikook | | Lina- kook | Soja- kook | Soja- srott | Päeva- lille- kook | Põldhernes | | Põlduba | |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|---------------|---------------|----------------|--------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | kuum- töödeldud | külm- pressitud | | | | | töötle- mata | 130°C 20 min | töötle- mata | 130°C 20 min |
| Kuivaine, % | 88,7 | 92,3 | 89,7 | 95,2 | 87,9 | 90,56 | 88,4 | 92,6 | 88,0 | 93,2 |
| Kuivaines, g/kg | | | | | | | | | | |
| proteiin | 367 | 357 | 368 | 393 | 508 | 304 | 252 | 250 | 301 | 293 |
| toortuhk | 74 | 69 | 61 | 63 | 70 | 67 | 29 | 29 | 34 | 35 |
| toorkiud | 122 | 107 | 99 | 71 | 61 | 266 | 55 | 55 | 70 | 74 |
| toorrasv | 99 | 204 | 181 | 80 | 10 | 95 | 12 | 8 | 12 | 12 |
| N-ta e.a. | 338 | 263 | 291 | 393 | 351 | 268 | 652 | 658 | 583 | 586 |
| metaboliseeruv energia, MJ | 13,1 | 14,2 | 14,8 | 14,7 | 14,0 | 10,8 | 13,7 | 13,7 | 13,4 | 13,4 |
| metaboliseeruv proteiin | 171 | 80 | 100 | 200 | 199 | 112 | 125 | 125 | 128 | 128 |
| vatsa proteiini- bilanss | 108 | 168 | 209 | 89 | 204 | 131 | 51 | 48 | 95 | 89 |
| Hind, EUR/tonn* | 260 | 151 | 189 | 377 | 314 | 135 | 200 | 200 | 197 | 197 |

*-Proteiinsöötade võrdlevad hinnad lähtudes kuumtöödeldud rapsikoogi hinnast (seisuga veebruar 2015) ja toiteväärtusest (korrigeeritud metaboliseeruva proteiini ja energia alusel).

Proteiinsöötade hinna võrdluseks võeti aluseks kuumtöödeldud rapsikoogi, kui Eestis kõige levinuma proteiinsööda, hind. Teiste proteiinsöötade hind leiti kahes etapis: 1. söötade hinna erinevus (+/-) sõltuvalt metaboliseeruva proteiini sisalduse erinevusest ja 2. saadud söötade hinna korrigeerimine vastavalt nende metaboliseeruva energia sisaldusele (+/-), arvestades rapsiõli hinda (1 kg = 30MJ=0,64 EUR).

Proteiinsöödana kasutatavate kookide kasutamist piirab nende toorrasva sisaldus. Põhjuseks on eelkõige toorrasva kõrge küllastamatute rasvhapete sisaldus, mis mõjutab negatiivselt vatsaseedet ja piimarasva sünteesi. Peab arvestama, et päevas koogiga antav toorrasva kogus ei tohiks ületada 500g. Seega kui koogi toorrasvasisaldus on kuivaines 10% saame seda kuivaine baasil sööta kuni 5kg, kui aga 20% siis ainult kuni 2,5 kg. Rohusilo kasutamise korral saab kõrgetoodanguliste lehmade proteiinitarbe tavaliselt kuni 5kg väherasvase koogi (tavaliselt kuumpressitud rapsikook) kasutamise korral kaetud. Samas, kui ratsioonis kasutatakse rohusilo kõrval ka maisisilo, siis tuleb väherasvasele koogile lisaks ratsiooni lülitada mõni šrott (tavaliselt sojasrott). Lisaks rapsikoogi rasvasisaldusele võib selle kasutamisel piiravaks teguriks osutada katiooni-aniooni bilanss.

Proteiinsöötade aminohappelise koostise juures tuleb meil arvestada eeskätt asendamatute, kuid veel enam kriitiliste aminohapete sisaldust. Piimatootmise seisukohast loetakse rohusilo ja teraviljajahust koosneva jõusööda söötisel esimeseks kriitiliseks aminohappeks histidiini ja seejärel kas lüsiini või metioniini (Vanhatalo jt., 1999; Korhonen jt., 2000; Korhonen jt., 2002). Neid aminohappeid silmas pidades tuleb esile tõsta nii rapsil kui sojal baseeruvaid proteiinsöötasid (tabel 3). Asendamatute aminohapete osatähtsus kogu aminohapetest on kõige suurem põldoas (43%), kõige väiksem aga päevalille- ja linakoogis, vastavalt 34% ja 35%. Põldherne ja -oa kuumutamise tagajärjel võib täheldada mõningast asendamatute aminohapete sisalduse vähenemist.

Tabel 3. Eestis kasutatavate proteiinsöötade ja piima aminohappeline koostis (g-des 100 g proteiinis). Asendamatute aminohapete read põllumajandusloomadel on märgitud kollaseks.

| Aminohape | Lühend | Rapsikook | | Lina- kook | Soja- kook | Soja- srott | Päeva- lille- kook | Põldherne | | Põlduba | | Piim |
|---------------|--------|--------------------|--------------------|---------------|---------------|----------------|--------------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-------|
| | | kuum- töödeldud | külm- pressitud | | | | | töötle- mata | 130°C 20 min. | töötle- mata | 130°C 20 min. | |
| Alaniin | ALA | 4,48 | 4,40 | 4,55 | 4,27 | 4,18 | 4,12 | 4,38 | 4,27 | 4,15 | 4,13 | 3,73 |
| Arginiin | ARG | 5,81 | 5,98 | 9,50 | 7,26 | 7,10 | 9,44 | 7,66 | 7,89 | 6,39 | 5,49 | 3,95 |
| Aspargiinhape | ASP | 7,54 | 7,44 | 9,81 | 10,25 | 10,03 | 7,70 | 11,08 | 11,98 | 12,67 | 11,67 | 6,94 |
| Fenüülalaniin | PHE | 4,28 | 4,04 | 4,75 | 5,34 | 5,22 | 4,77 | 4,57 | 4,43 | 6,11 | 5,46 | 4,20 |
| Glutamiinhape | GLU | 17,11 | 16,49 | 19,92 | 17,08 | 16,70 | 22,26 | 16,94 | 17,03 | 15,14 | 14,62 | 19,23 |
| Glütsiin | GLY | 5,35 | 5,10 | 5,86 | 4,27 | 4,18 | 6,23 | 4,38 | 4,41 | 3,51 | 3,63 | 2,43 |
| Histidiin | HIS | 2,85 | 2,73 | 2,33 | 2,99 | 2,93 | 2,38 | 2,18 | 2,07 | 2,83 | 2,51 | 3,49 |
| Isoleutsiin | ILE | 4,40 | 4,16 | 4,05 | 5,12 | 5,01 | 3,48 | 3,93 | 3,86 | 4,70 | 4,47 | 4,75 |
| Leutsiin | LEU | 6,75 | 7,07 | 5,96 | 7,68 | 7,52 | 6,50 | 6,74 | 6,91 | 8,33 | 7,81 | 9,08 |
| Lüsiin | LYS | 5,99 | 5,77 | 3,95 | 6,19 | 6,06 | 3,21 | 7,38 | 7,11 | 7,39 | 6,46 | 7,98 |
| Metioniin | MET | 2,56 | 1,94 | 1,42 | 1,07 | 1,04 | 2,29 | 0,86 | 0,89 | 1,44 | 1,14 | 2,27 |
| Proliin | PRO | 6,29 | 5,83 | 3,54 | 4,27 | 4,18 | 3,30 | 3,86 | 3,87 | 3,81 | 3,58 | 4,20 |
| Seriin | SER | 3,83 | 3,61 | 4,65 | 4,27 | 4,18 | 5,04 | 4,35 | 4,49 | 5,53 | 5,34 | 5,64 |
| Treoniin | THR | 4,34 | 4,22 | 3,74 | 3,41 | 3,34 | 3,66 | 3,77 | 3,66 | 4,21 | 4,41 | 5,05 |
| Trüptofaan | TRP | 1,32 | 1,24 | 1,66 | 1,39 | 1,13 | 1,38 | 1,04 | 1,07 | 1,08 | 1,05 | 1,23 |
| Tsüsteiin | CYS | 2,77 | 2,28 | 1,11 | 0,42 | 0,41 | 1,74 | 1,02 | 1,24 | 0,07 | 0,10 | 0,69 |
| Türosiin | TYR | 3,04 | 2,79 | 2,33 | 2,99 | 2,93 | 2,01 | 3,08 | 2,86 | 2,53 | 3,23 | 4,45 |
| Valiin | VAL | 3,93 | 4,51 | 4,75 | 5,12 | 5,01 | 3,85 | 4,77 | 4,30 | 5,31 | 5,95 | 4,46 |

Võrreldes uuritud söötade aminohappelise profiili piima aminohappelise profiiliga saame öelda, et kõige enam sarnaneb see rapsil ja sojal baseeruvate proteiinsöötadega. Kõige vähem aga päevalillekoogi aminohappelise profiiliga.

2.2. Proteiinsöötade tootmistehnoloogia mõju nende kvaliteedile.

Üheks oluliseks momendiks piimalehmade söötmisel on lähtuvalt söödaproteiini kvaliteedist optimeerida selle kasutamist söödaratsioonide koostamisel. Peaaegu kõik proteiinsöödad sisaldavad vatsas lõhustuvat ja vatsas lõhustumatut proteiini. Reegel on, et lehmade piimatoodangu suurenedes peab söödaratsioonis suurenema vatsas lõhustumatu proteiini osatähtsus. Selleks, et suurendada proteiinsöötade vatsas lõhustamata proteiini osa on välja töötatud mitmeid erinevaid meetodeid, nagu keemiline töötlemine, kapseldamine, töötlemine tanniinidega, kuumtöötlemine jt. Kirjandusele tuginedes võib öelda, et kuumtöötlemise meetodid on efektiivsemad kui keemilised meetodid, sest viimastel võib sagedamini esineda kahjulik mõju aminohapete seeduvusele peensooles.

Tänapäeval ongi söötade termiline töötlemine kõige levinum proteiini kaitsetöötlemise meetod. Probleem on selles, et proteiinsöötade kuumtöötlemisel võib tekkida oht, et protseduuri käigus valgud denatureeruvad ja moodustavad süsivesikutega ristsidemeid, mille tulemusena tekib seedetraktis seedumatu nn Maillardi produkt. Tekkinud seedumatu produkt on stabiilne nii vatsa mikroorganismide proteaasidele, maos olevale happele kui ka peensooles olevatele proteolüütilistele ensüümidele. See tähendab, et söödas olev proteiin on töötlemise käigus muutunud loomorganismi poolt omastamatuks ja väljutatakse roojaga tagasi keskkonda. Tulemuseks on toodangu langus ja suurenenud lämmastiku emissioon looduskeskkonda.

Liigse kuumutamisega kaasneb ka söötade aminohappelise koostise muutus. Kõige tundlikumad kõrge temperatuuri suhtes on lüsiin, tsüstiin ja arginiin, millised lagunevad kergesti ja kaotavad oma bioloogilise väärtuse. Seega töötlemisprotsessi tingimustest sõltub sööda toiteväärtuse (*resp.* proteiini kvaliteedi) paranemine või halvenemine.

Kuumtöötlemise meetodi puhul on väga oluline õige temperatuuri valik ja ka kuumutamise aeg. Liiga madal temperatuur ei avalda protekteerivat mõju, liiga kõrge temperatuuri korral saavad aga valgud kahjustatud. Optimaalse temperatuurirežiimi kasutamine koos pressimisprotsessiga aitabki lagundada liitvalke ja/või lõhkuda süsivesikute struktuurseid sidemeid nii, et toitained, mis muidu läbiksid sooltoru seedumatult, muutuvad organismis omastatavateks.

Lähtudes eeltoodust on proteiinsöötade kvaliteedi hindamisel ja toiteväärtuse arvutamisel väga oluline arvestada lisaks proteiini lahustumisele ja lõhustumisele vatsas ka seedetraktis seedumata proteiini osatähtsusega.

Proteiini kuumakahjustusi (*resp.* sooltraktis seedumatu proteiini osatähtsus kogu proteiinist), mis on tekkinud kas hoiustamisel või tootmise protsessis, saab hinnata meetodika – ADIP (Acid Detergent Insoluble Protein / happekiud lahustumatu proteiin) – abil. Seedumatu proteiin jääb alles pärast proovi happedetergentlahusega töötlemist (happekiu (ADF-i) määramist). Kogu ADF jääb kogutakse filterpaberile ja sellest määratakse lämmastik. Seejärel arvutatakse kui palju sisaldab ADF-st lämmastikku kuivaines ning korrutades lämmastikusisalduse 6,25 saadakse ADF toorproteiini sisaldus (ADF_{CP}). ADIP väljendatakse kui protsentides üldproteiinist sööda kuivaines.

Taimses materjalis leidub peaaegu alati mingi kogus proteiini, mis jääb vatsas lõhustumatuks ja seedetraktis seedumatuks. Üldjuhul on tegemist taimeraku kestaainetega, peamiselt

ligniiniga, seotud proteiiniga ja see moodustab orienteeruvalt 7% kogu proteiinist. Praktilisel proteiinsöötade kvaliteedi hindamisel loetakse veel normaalseks kui eeltoodud metoodika järgi ADIP tase jääb alla 10%. See tähendab, et sööda toiteväärtust ei korrigeerita. Kui ADIP on aga üle 10% korrigeeritakse proteiinsööda orgaanilise aine seeduvust, metaboliseeruva energia- ja proteiinisaldust ning vatsa proteiinibilanssi. Samuti tuuakse välja sööda korrigeeritud proteiinisaldus.

Eestis müüakse väga erineva kvaliteediga proteiinsöötasid. Farmides esilekerkinud piimajõudluse langus proteiinsööda uue partii kasutusele võtmisel ajendas meid uurima seedumatu proteiini osakaalu proteiinsöötades. Rakendades eespool kirjeldatud metoodikat selgitasime erinevate tehnoloogiatega toodetud rapsikookide proteiini kvaliteeti (tabel 4).

Tabel 4. Tehnoloogia mõju rapsikoogi proteiini kvaliteedile

| Tehnoloogia | n | Proteiin, g/kg | Proteiini efektiivne lõhustuvus vatsas, % | Seedetraktis seedumatu proteiin (ADIP), % | Korrigeeritud proteiin, g/kg | Proteiini sisalduse muutus, % |
|-----------------------------------|-----|----------------|---|---|------------------------------|-------------------------------|
| Külmpress < 60°C | 40 | 332 | 89 | 6,8 | – | |
| Külmpress < 90°C | 9 | 346 | 85 | 11,7 | 340 | -1,7 |
| Kuumtöödeldud (optimaalne režiim) | 103 | 365 | 54 | 6,8 | – | |
| Kuumtöödeldud (ebaõige režiim) | 17 | 374 | 52 | 23,2 | 325 | -13,1 |

Kui kuumtöötlemise tehnoloogiaga valmistatud kookides on proteiini kahjustumine seletatav ebaõige temperatuuri režiimiga, siis külmpressimise tehnoloogiaga valmistatud kookides me seda oodata ei osanud. Järeldasime, et külmpressimise käigus tõuseb teopressis oleva koogi ja teo metallseina kokkupuute pinnal temperatuur nii kõrgele, et proteiin kahjustub. Sellest tulenevalt suureneb vatsas lõhustumatu proteiini osa, kuid samas jääb see peensooles seedumatuks. Lisaks, täna on pelgalt välimuse ja keemilise koostise alusel turul pakutava külmpressitud ja kuumpressitud kookide osas väga raske vahet teha. Kui varasemalt eristusid need värvi (roheline *versus* pruun) ja rasvasisalduse (20% *versus* 10%) poolest (vt. tabel 2), siis täna enam mitte. Seetõttu ongi täna proteiinsöötade hindamisel vajalik hinnata lisaks proteiini efektiivsele lõhustuvusele vatsas (vt osa 3.1) ka seedumatu proteiini osatähtsus kogu proteiinist (ADIP).

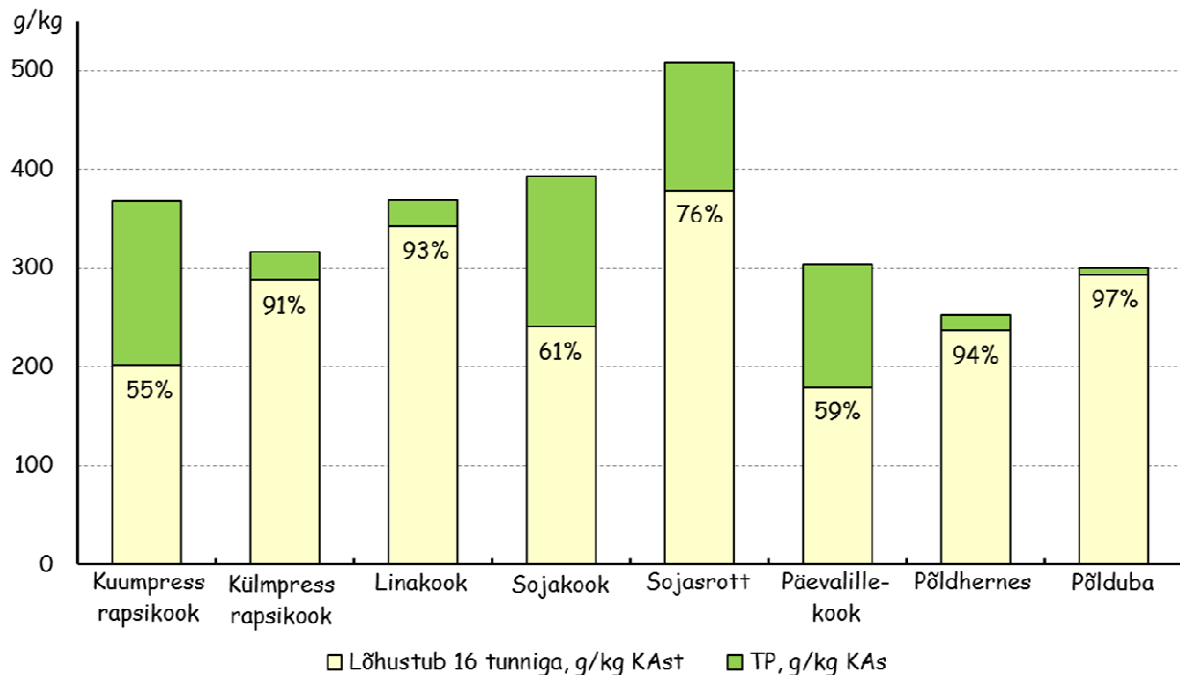
3. Proteiinsöötade proteiini lõhustuvus vatsas, lõhustumatu jäägi aminohappeline profiil ja seeduvus peensooles

3.1. Proteiinsöötade lõhustuvus vatsas

Proteiini efektiivne lõhustuvus vatsas näitab kui suure osa söödaproteiinist lõhustavad vatsa mikroorganismid ära enne kui sööt liigub vatsast edasi seedetrakti alaosadesse. Reegel on, et mida vähem söödaproteiin vatsas lõhustub, seda suurem on antud söödas metaboliseeruva proteiini sisaldus (aminohappeid jõuab rohkem peensoolde ja imendub seal) ja seda väiksem on vatsa proteiinibilanss ning vastupidi.

Proteiinsöötade lõhustuvust vatsas uuriti *in sacco* meetodil vatsafistulitega varustatud lehmadel Märja katselaudas vastavalt NorFor (2007) standardile. Nimetatud standardi kohaselt eeldatakse, et jõusöödad, sh proteiinsöödad, viibivad vatsas keskmiselt 16 tundi. Sellest lähtuvalt inkubeerisime ka meie söödaproove vatsas 16 tundi.

Katse tulemused on esitatud joonisel 3. Vatsas mittelõhustuvat proteiini oli rohkem kuumpressitud rapsikoogis, päevalillekoogis ja sojal baseeruvates proteiinsöötades. Üle 90% proteiinist lõhustus 16 tunni jooksul lina- ja külmpressitud rapsikoogist ning põldhernesest ja põldoast.



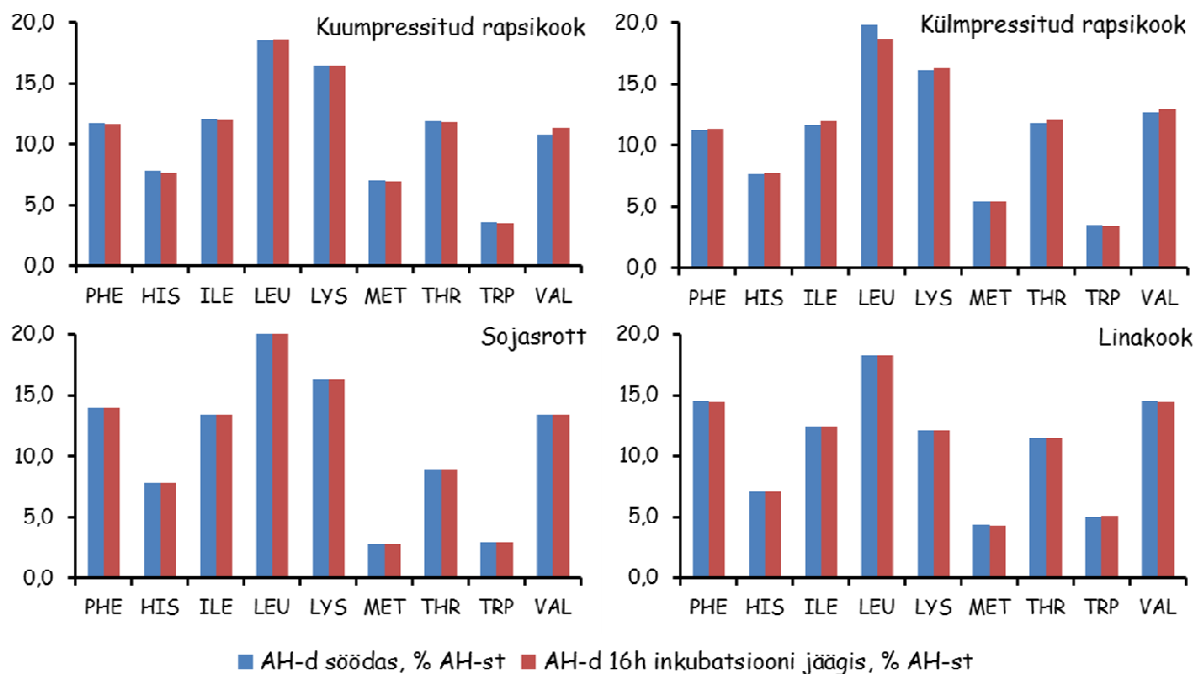
Joonis 3. Proteiinsöötade proteiinisaldus (tulba kogu kõrgus) ja lõhustuvus vatsas peale 16 tundi inkubeerimist (kollane osa tulbast, number näitab proteiini lõhustuvust %-des).

Proteiinsöötade vatsast mööduvate aminohapete osatähtsus on seotud vastava sööda proteiini lõhustuvusega vatsas. Inkubatsiooni järgis on asendamatu aminohappeid kõige rohkem sojal baseeruvates proteiinsöötades (tabel 5), mõnevõrra vähem kuumpressitud rapsikoogis ja päevalillekoogis. Põldhernes ja põldoas on küll asendamatute/limiteerivate aminohapete, eeskätt lüsiini, sisaldus suur, kuid inkubatsioonijärgi jääb neid vatsas suure lõhustuvuse tõttu väga vähe. Tagasihoidlik on ka külmpressitud rapsi- ja linakoogi aminohapete sisaldus inkubatsioonijärgis.

Võrreldes 16 tundi vatsas inkubeeritud söödajääkide aminohapete profiile saame öelda, et need on praktiliselt identsed algsööda aminohapete profiiliga (joonis 4). Maksimaalne aminohappe sisalduses erinevus 100 g proteiinis oli sööda ja vatsa inkubatsioonijärgi vahel 3,96 %, mis jäi mõõte määramatuse piiridesse.

Tabel 5. Asendumatute aminohapete sisaldused kg^{-1} proteiinsööda kuivaines ja vatsas inkubeeritud söödajäägis.

| Amino- hape | AH-te sisaldus söödas, g/kg kuivaines | AH-te sisaldus 16h inkubatsiooni jäägis, g/kg algsööda kuivaine kohta | AH-te sisaldus söödas, g/kg kuivaines | AH-te sisaldus 16h inkubatsiooni jäägis, g/kg algsööda kuivaine kohta | AH-te sisaldus söödas, g/kg kuivaines | AH-te sisaldus 16h inkubatsiooni jäägis, g/kg algsööda kuivaine kohta | AH-te sisaldus söödas, g/kg kuivaines | AH-te sisaldus 16h inkubatsiooni jäägis, g/kg algsööda kuivaine kohta |
|----------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Kuumpressitud rapsikook | | Külmpressitud rapsikook | | Sojakook | | Sojasrott | |
| PHE | 15,86 | 4,12 | 9,56 | 0,79 | 20,95 | 8,12 | 25,58 | 6,16 |
| HIS | 10,52 | 2,72 | 6,47 | 0,54 | 11,74 | 4,55 | 14,33 | 3,45 |
| ILE | 16,29 | 4,22 | 9,85 | 0,83 | 20,12 | 7,80 | 24,56 | 5,92 |
| LEU | 24,99 | 6,55 | 16,75 | 1,30 | 30,16 | 11,69 | 36,82 | 8,87 |
| LYS | 22,19 | 5,79 | 13,66 | 1,13 | 24,31 | 9,42 | 29,68 | 7,15 |
| MET | 9,49 | 2,47 | 4,60 | 0,38 | 4,19 | 1,62 | 5,12 | 1,23 |
| THR | 16,05 | 4,17 | 9,99 | 0,84 | 13,40 | 5,19 | 16,36 | 3,94 |
| TRP | 4,86 | 1,25 | 2,95 | 0,24 | 5,45 | 2,11 | 5,51 | 1,33 |
| VAL | 14,55 | 4,01 | 10,69 | 0,90 | 20,12 | 7,80 | 24,56 | 5,92 |
| Kokku | 134,80 | 35,30 | 84,52 | 6,95 | 150,44 | 58,30 | 182,52 | 43,97 |
| | Linakook | | Päevalillekook | | Põldhernes (töötlemata) | | Põlduba (töötlemata) | |
| PHE | 17,47 | 1,25 | 14,47 | 5,36 | 11,28 | 0,60 | 17,16 | 0,42 |
| HIS | 8,57 | 0,61 | 7,24 | 2,68 | 5,32 | 0,29 | 7,92 | 0,18 |
| ILE | 14,90 | 1,07 | 10,56 | 3,91 | 9,78 | 0,52 | 13,60 | 0,31 |
| LEU | 21,94 | 1,57 | 19,75 | 7,32 | 17,13 | 0,91 | 23,95 | 0,55 |
| LYS | 14,53 | 1,04 | 9,75 | 3,61 | 18,17 | 0,97 | 20,56 | 0,47 |
| MET | 5,21 | 0,37 | 6,96 | 2,58 | 2,20 | 0,12 | 3,84 | 0,09 |
| THR | 13,78 | 0,99 | 11,12 | 4,12 | 9,33 | 0,50 | 12,79 | 0,30 |
| TRP | 6,10 | 0,44 | 4,19 | 1,55 | 2,65 | 0,14 | 3,15 | 0,07 |
| VAL | 17,47 | 1,25 | 11,68 | 4,33 | 11,39 | 0,61 | 16,70 | 0,39 |
| Kokku | 119,97 | 8,59 | 95,72 | 35,46 | 87,25 | 4,66 | 119,67 | 2,78 |

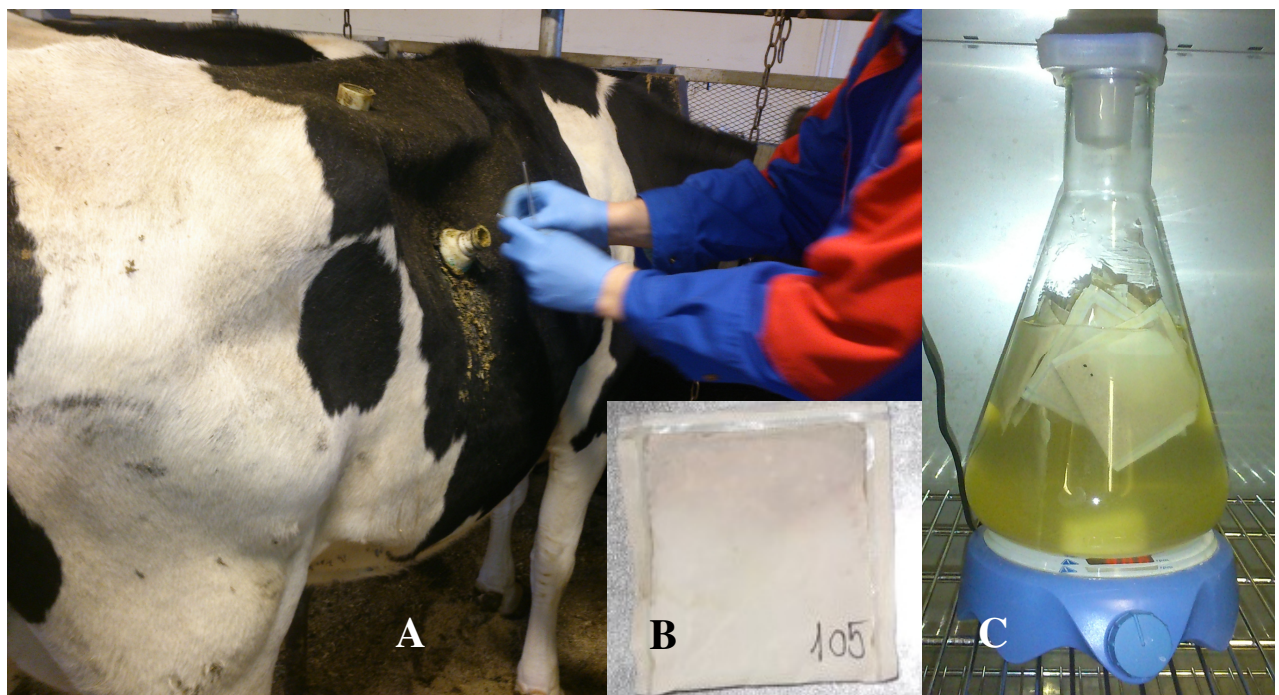


Joonis 4. Mõnede proteiinsöötade asendamatute aminohapete sisaldus söödas ja pärast 16 tundi inkubeerimist inkubatsiooni jäägis (%-des aminohapetest)

3.2. Proteiinsöötades seeduvus peensooles

Kogu seedetrakti seeduvuse määramiseks kasutati liikuva kotikese meetodikat (NorFor 2011), kus väikestesse (6×6 cm) *dacron* kotikestesse (polüester materjal, poori avause suurus 12 µm, tootja Saatitech S.p.A., Itaalia) kaaluti ~1g sööta ja suleti kuumkinnitusega (joonis 4B). Katse ajal söödeti katseloomale elatustarbelist ratsiooni, mis koosnes 1/3 osas jõusöödast ja 2/3 osas silost ning heinast. Kõigepealt inkubeeriti kotikesi 16 tundi vatsas, misjärel kotikesi pesti ning sügavkülmutati -18°C juures kuni edasiste protseduurideni. Peale kotikeste sulatamist leotati neid üks tund soolhappe 0,004M lahuses pH 2,4 juures ning inkubeeriti kaks tundi HCl-pepsiini lahuses (100 mg pepsiini 1 liitris 0,004M HCl-s) termokapis 40°C juures kasutades magnetsegajat (joonis 4C). Seejärel sisestati kotikesed peensoolde (joonis 4A). Pärast peen- ja jämesoole läbimist (4...36 tundi) koguti kotikesed roojast ning pesti pesumasinas sarnaselt nagu vatsa inkubatsiooni järgselt.

Laboratooriumis *dacron* kotikesed avati ja nende sisu (inkubatsioonijääk) pesti destilleeritud veega lämmastikuvabale filterpaberile. Pärast kuivatamist analüüsiti jääki lämmastikusisalduse osas Kjeldahli meetodil. Peensooles seeduv proteiin leiti seedetrakti sisestatud kotikeses oleva proteiini koguse ja seedetraktist väljunud kotikeses oleva sisu proteiini koguste vahe kaudu. Samal viisil toimiti ka aminohapete seeduvuste leidmisel, kuid arvesse võeti söötade aminohappeline profiil.



Joonis 5. Duodeenumi fistuliga varustatud lehm (A), peensoole inkubatsiooni läbinud *dacron* kotike söödaproovi jäägiga (B) ja termokapis asuv magnetsegaja, mille peal on kolb soolhappe ja pepsiini lahusega, nõ kunst magu (C).

Antud projekti raames inkubeeriti veise seedetraktis järgmised söödad: külmpressitud rapsikook, kaks kuumpressitud rapsikooki (ühel neist oli seedetraktis seedumatu proteiini osatähtsus ligi 30%), sojakook ja -šrott, lina- ja päevalillekook. Söötade keemilisest koostisest ja toiteväärtusest annab ülevaate tabel 6.

Tabel 6. Peensooles proteiinsöötade seeduvuse katses kasutatud söötade keemiline koostis ja toiteväärtus.

| Näitaja | Külmpress rapsikook | Kuumpress rapsikook 1 | Kuumpress rapsikook 2 | Sojakook | Sojasrott | Linakook | Päevalillekook |
|-------------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------|----------|----------------|
| Kuivaine, % | 90,6 | 89,1 | 90,7 | 95,2 | 87,9 | 89,7 | 90,6 |
| Kuivaines, g/kg | | | | | | | |
| proteiin | 316 | 379 | 400 | 393 | 508 | 368 | 304 |
| toortuhk | 62 | 72 | 68 | 63 | 70 | 61 | 67 |
| toorkiud | 108 | 108 | 116 | 71 | 61 | 99 | 266 |
| toorrasv | 204 | 104 | 89 | 80 | 10 | 181 | 95 |
| N-ta ekstraktiivained | 310 | 337 | 327 | 394 | 351 | 291 | 269 |
| metaboliseeruv energia, MJ/kg | 14,2 | 13,9 | 12,0 | 14,7 | 14,0 | 14,8 | 10,8 |
| metaboliseeruv proteiin | 80 | 168 | 158 | 200 | 199 | 100 | 112 |
| vatsa proteiini-bilanss | 168 | 124 | 82 | 89 | 204 | 209 | 131 |
| ADIP (seedumatu proteiin), % | 15,8 | 6,6 | 29,5 | | | | |
| korregeeritud proteiin | 298 | | 322 | | | | |

Uuritud söötade aminohapete kasutamist lüpsilehmadel iseloomustab tabel 7. Kogu söödaproteiinist moodustasid aminohapped 81...89 %, vähem oli neid külmpressitud rapsikoogis ja rohkem sojakoogis. Asendamatute aminohapete osatähtsus kogu aminohapetest varieerus 34...41 %, olles suurim sojaoal baseeruvates proteiinsöötades ja väiksem päevalillekoogis. Piimatootmist limiteerivate aminohapete histidiini ja lüsiini sisaldus oli samuti suurem sojaoal baseeruvates proteiinsöötades ja väiksem päevalillekoogis. Samas metioniini sisaldus oli suurem kuumpressitud rapsikoogis ja väiksem linakoogis.

Pärast 16-ne tunnist vatsas inkubeerimist oli aminohappeid kõige vähem lõhustunud sojaoal baseeruvatest proteiinsöötadest ja päevalillekoogist, kõige enam aga külmpressitud rapsikoogist ja linakoogist. Lõhustunud söödaproovi jääkide aminohappeline profiil ei erinenud märkimisväärselt algse sööda aminohappelisest profiilist.

Peensoolde jõudis aminohappeid enam nendest söötadest, mis lõhustusid vatsas vähem ja vastupidi. Vatsas lõhustamata jäänud sööda aminohapete seeduvus oli madal nendes söötades, mille aminohapete lõhustuvus vatsas oli suur, nt. külmpress rapsikoogis 3,7 % ja linakoogis 23,8 %. Aminohapete seeduvuse erinevus vatsa inkubatsioonijäägis on seletatav külmpressitud rapsikoogi proteiini kuumakahjustusega (ADIP = 15,8 %). Vatsas vähem lõhustunud söötade aminohapete seeduvus peensooles oli aga väga suur, nt. sojakoogis 95,0 % ja sojasrotis 96,8 %.

Aminohapete summa seeduvus kogu seedetraktis varieerus 91,1...98,8 %, väiksem oli see rapsikoogis ja suurim sojasrotis. Üksikute aminohapete seeduvus peegeldus aminohapete summa seeduvuses. Erandiks oli ebaõige töötlemise režiimi tõttu kuumakahjustuse (ADIP = 29,5 %) saanud kuumpress rapsikook 2, milles lüsiin seedus ainult 84,1 % ulatuses.

Võttes arvesse vatsas mittelõhustuvate aminohapete seeduvust peensooles, uurisime mitme % ulatuses kaetakse 1 kg proteiinsöötadega piima tootmiseks (30 kg, 3,4 % valku) vajaminevate aminohapete vajadus (vt tabel 7). Aminohapete summa, lüsiini ja histidiini osas on kõige efektiivsemad sojaoal baseeruvad proteiinsöödad, metioniini osas aga kuumpressitud rapsikook ja päevalillekook. Kõige väiksema efektiivsusega on aga külmpressitud rapsikook ja linakook, sest nende söötade aminohapetest jõudis peensoolde kõige vähem.

Tabel 7. Asendamatute aminohapete (AH) ja aminohapete summa sisaldused proteiin-söötades, lõhustuvus vatsas, imendumine peensooles ning piimasünteesi tarbe katmine

| Näitajad | Külmpress rapsikook | Kuumpress rapsikook 1 | Kuumpress rapsikook 2 | Sojakook | Sojasrott | Linakook | Päevalillekook |
|--|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------|----------|----------------|
| Aminohappeid söödas, g/kg | | | | | | | |
| Fenüülalaniin | 11,6 | 14,3 | 15,8 | 19,9 | 23,8 | 15,7 | 13,1 |
| Histidiin | 7,8 | 9,0 | 10,9 | 11,2 | 13,4 | 7,7 | 6,6 |
| Isoleutsiin | 11,9 | 14,6 | 16,2 | 19,2 | 22,9 | 13,4 | 9,6 |
| Leutsiin | 20,3 | 22,7 | 24,6 | 28,7 | 34,3 | 19,7 | 17,9 |
| Lüsiin | 16,5 | 20,1 | 21,9 | 23,1 | 27,7 | 13,0 | 8,8 |
| Metioniin | 5,6 | 9,3 | 8,6 | 4,0 | 4,8 | 4,7 | 6,3 |
| Treoniin | 12,1 | 14,1 | 16,3 | 12,8 | 15,2 | 12,4 | 10,1 |
| Triptofaan | 3,6 | 4,4 | 4,9 | 5,2 | 6,2 | 5,5 | 3,8 |
| Valiin | 12,9 | 13,2 | 14,4 | 19,2 | 22,9 | 15,7 | 10,6 |
| Aminohappeid kokku | 256,6 | 310,7 | 338,1 | 349,1 | 417,0 | 310,0 | 256,8 |
| Jäab järgi pärast 16h inkubeerimist vatsas, g 1 kg-st söödast | | | | | | | |
| Lõhustub vatsas, % | 90,77 | 72,26 | 70,69 | 61,25 | 63,00 | 92,83 | 62,97 |
| Fenüülalaniin | 1,1 | 4,0 | 4,6 | 7,7 | 8,8 | 1,1 | 4,9 |
| Histidiin | 0,7 | 2,5 | 3,2 | 4,3 | 4,9 | 0,6 | 2,4 |
| Isoleutsiin | 1,1 | 4,1 | 4,7 | 7,4 | 8,5 | 1,0 | 3,5 |
| Leutsiin | 1,9 | 6,3 | 7,2 | 11,1 | 12,7 | 1,4 | 6,6 |
| Lüsiin | 1,5 | 5,6 | 6,4 | 9,0 | 10,2 | 0,9 | 3,3 |
| Metioniin | 0,5 | 2,6 | 2,5 | 1,6 | 1,8 | 0,3 | 2,3 |
| Treoniin | 1,1 | 3,9 | 4,8 | 5,0 | 5,6 | 0,9 | 3,7 |
| Triptofaan | 0,3 | 1,2 | 1,4 | 2,0 | 2,3 | 0,4 | 1,4 |
| Valiin | 1,2 | 3,7 | 4,2 | 7,4 | 8,5 | 1,1 | 3,9 |
| Aminohappeid kokku | 23,7 | 86,2 | 99,1 | 135,3 | 154,3 | 22,2 | 95,1 |
| Vatsas lõhustumatust proteiinist peensooles imendunud aminohapped, g 1 kg-st söödast | | | | | | | |
| Imendub peensooles sööda aminohapetest, % | 91,11 | 92,43 | 90,30 | 98,06 | 98,82 | 94,54 | 95,31 |
| Imendub peensooles vatsa inkubatsioonijäägi aminohapetest, % | 3,72 | 72,70 | 66,90 | 94,99 | 96,81 | 23,76 | 87,35 |
| Fenüülalaniin | 0,1 | 2,8 | 3,1 | 7,3 | 8,5 | 0,2 | 4,2 |
| Histidiin | 0,0 | 2,1 | 2,5 | 4,1 | 4,8 | 0,4 | 2,3 |
| Isoleutsiin | 0,1 | 3,2 | 3,6 | 7,1 | 8,2 | 0,5 | 3,3 |
| Leutsiin | 0,1 | 5,0 | 5,5 | 10,6 | 12,3 | 0,8 | 6,2 |
| Lüsiin | 0,1 | 4,6 | 2,9 | 8,5 | 9,9 | 0,6 | 3,1 |
| Metioniin | 0,0 | 2,1 | 2,0 | 1,5 | 1,7 | 0,2 | 2,2 |
| Treoniin | 0,1 | 2,7 | 3,2 | 4,7 | 5,5 | 0,1 | 3,2 |
| Triptofaan | 0,0 | 0,8 | 0,9 | 1,9 | 2,2 | 0,1 | 1,2 |
| Valiin | 0,1 | 2,6 | 2,8 | 7,1 | 8,2 | 0,2 | 3,4 |
| Aminohappeid kokku | 1,3 | 62,7 | 66,3 | 128,5 | 149,4 | 5,3 | 83,1 |
| %, mis kaetakse 30 kg 3,4% valgusisaldusega piima sünteesimise AH tarbest 1kg-st söödast vatsas | | | | | | | |
| Fenüülalaniin | 0,13 | 6,44 | 7,15 | 17,12 | 19,90 | 0,40 | 9,69 |
| Histidiin | 0,13 | 7,05 | 8,51 | 13,91 | 16,17 | 1,27 | 7,87 |
| Isoleutsiin | 0,12 | 6,70 | 7,42 | 14,56 | 16,93 | 1,09 | 6,83 |
| Leutsiin | 0,11 | 5,42 | 5,90 | 11,41 | 13,27 | 0,84 | 6,68 |
| Lüsiin | 0,10 | 5,69 | 3,62 | 10,47 | 12,17 | 0,78 | 3,86 |
| Metioniin | 0,12 | 9,25 | 8,57 | 6,33 | 7,36 | 0,99 | 9,66 |
| Treoniin | 0,11 | 5,31 | 6,16 | 9,11 | 10,60 | 0,26 | 6,20 |
| Triptofaan | 0,19 | 9,18 | 10,27 | 20,82 | 24,20 | 0,65 | 13,11 |
| Valiin | 0,13 | 5,37 | 5,88 | 14,83 | 17,24 | 0,36 | 7,05 |
| Aminohapped kokku | 0,13 | 6,57 | 6,95 | 13,48 | 15,67 | 0,55 | 8,71 |

3.3. Proteiinsöötade mõju lehmade piimajõudlusele

Üheks antud projekti eesmärgiks oli uurida erinevate Eestis enim kasutatavate proteiinsöötade (kuumtöödeldud rapsikook ja sojasrott) ja nende aminohappelise koostise mõju lehmade piima jõudlusele ja proteiini kasutamise efektiivsusele.

Eesmärgist lähtuvalt analüüsiti 4 x 4 ladina ruudu põhimõttel läbi viidud kahefaktoriline füsioloogilise katse andmeid. Katse viidi läbi nelja esimese laktatsiooni eest holsteini tõugu lüpsilehmaga, kelle keskmine kehamass oli 615 kg. Katses kesti kokku 56 päeva, selles oli neli perioodi kusjuures üks periood koosnes kaheksapäevasest eelperioodist ja kuue päevasest põhiperioodist. Katseloomade söödaratsioon koosnes põldheinasilost (75% ristikut), kahest erinevast tärkliseallikast (odra- või maisijahu) ning kahest proteiiniallikast (kuumtöödeldud rapsikook või sojasrott). Söödaratsioonid koostati nii, et energiatarbest kaeti põldheinasiloga 40% ning 60% jõusöödasega (odra- või maisijahu + rapsikook või sojasrott), mille proteiinisaldus oli 18%; mineraalainete tarbe rahuldamiseks lisati ratsiooni 220g mineraalsööta (kaltsiumi ja fosfori suhe 0,9:1) ning 100g keedusoola. Katsevariandid sisaldasid keskmiselt 11,4 MJ metaboliseeruvat energiat ja 183 g proteiini ühes kilogrammis söödaratsiooni kuivaines. Söötade söömused ning piimatoodangud registreeriti kõikidel põhiperioodi päevadel. Piimaproovid nende koostise määramiseks koguti teisel, neljandal ja kuuendal põhiperioodi päeval. Uriini kogused mõõdeti ning puriiniderivaatide sisaldused määrati kahel viimasel põhiperioodi päeval. Kasutatud söötade lahustuvuse ja lõhustuvuse määramiseks korraldati eraldi *in sacco* katse, mille tulemusi kasutati antud katse arvutustes. Söötade keemiline analüüs teostati vastavalt AOAC standardmetoodikatele ning aminohappelise profiili analüüs antud aruande punktis üks kirjeldatud metoodika alusel. Mikrobiaalse proteiini kogus leiti uriini puriiniderivaatide alusel (Chen, Gomes, 1992).

Erinevate katsesöötade proteiini ning aminohapete söömused nii söötade kui katsevariantide korral on esitatud tabelis 8. Söödaratsioonides kasutatud tärklise- ja proteiiniallikas ei mõjutanud statistiliselt oluliselt kuivaine ega proteiini söömust. Küll oli sojasrotti söönud lehmadel oluliselt ($P < 0,001$) suurem metaboliseeruva proteiini söömused, põhjuseks sojasroti väiksem lõhustuvus vatsas ja enamate aminohapete imendumine mööduvast proteiinist.

Maisijahu sisaldas enamalaniini, leutsiini, türosiini ja histidiini ja sellest tingituna tarbisid katseloomad maisijahu sisaldavate katsevariantide korral neid aminohappeid mõnevõrra rohkem; odrajahu sisaldanud ratsioonide korral oli kõrgem proliini ja trüptofaani tarbimine. Võrreldes erinevaid proteiiniallikaid oli sojasroti sisaldanud ratsioonide korral mõnevõrra suurem arginiini, aspargiinhappe ja valiini ning väiksem metioniini ja tsüsteiini tarbimine kui rapsikoogi korral.

Vatsas lõhustunud proteiini kogus sõltus statistiliselt oluliselt nii tärklise- ($P < 0,01$) kui ka proteiiniallikast ($P < 0,05$), samas nende kahe allika koosmõju ei osutunud statistiliselt oluliseks. Võrreldes odrajahu sisaldanud ratsioonidega oli vatsas lõhustumata proteiini hulk suurem maisijahu korral ning võrreldes rapsikooki sisaldanud ratsioonidega oli nn mööduva proteiini kogus suurem sojasroti korral (tabel 9). Kõige rohkem saadi peensooles imendunud aminohappeid vatsas lõhustumata proteiinist kui ratsioonis olid maisijahu ja sojasrott (730 g); võrreldes teiste katsevariantidega oli antud katsevariandi puhul imendunud aminohapetest kõige suuremad histidiini, isoleutsiini, leutsiini, seriini, treoniini ja türosiini kogused. Kõige rohkem imendus peensooles nn mööduvast proteiinist pärit metioniin katsevariandi korral kus olid kasutuses maisijahu ja rapsikook. Võrreldes rapsikooki sisaldanud ratsioonide korral imendus peensooles nn mööduvast proteiinist sojasroti korral rohkem arginiini, aspargiinhapet, fenüülalaniini, glutamiinhapet, lüsiini, trüptofaani ja valiini ning vähem tsüsteiini.

Tabel 8. Katsesöötade söömused ning eri söötadega saadud proteiini ja aminohapete kogused erinevate katsevariantide korral.

| Söömus | Katsevariant 1 (O+R) | | | | Katsevariant 2 (O+S) | | | |
|----------------------------|----------------------|-----------|-----------|-------|----------------------|-----------|-----------|-------|
| | Silo | Odrajahu | Rapsikook | Kokku | Silo | Odrajahu | Sojasrott | Kokku |
| Kuivaine, kg | 9,1 | 8,0 | 2,3 | 19,4 | 8,6 | 9,2 | 1,5 | 19,3 |
| Proteiin, g | 1681 | 1031 | 806 | 3518 | 1597 | 1190 | 742 | 3529 |
| Metaboliseeruv proteiin, g | 698 | 815 | 323 | 1836 | 654 | 941 | 291 | 1886 |
| Aminohapped, g | | | | | | | | |
| Alaniin | 86 | 40 | 36 | 162 | 82 | 46 | 32 | 159 |
| Arginiin | 78 | 46 | 46 | 169 | 74 | 53 | 54 | 180 |
| Aspargiinhape | 181 | 56 | 60 | 297 | 172 | 65 | 76 | 313 |
| Fenüülalaniin | 75 | 50 | 34 | 158 | 71 | 57 | 40 | 168 |
| Glutamiinhape | 145 | 211 | 138 | 494 | 138 | 243 | 127 | 508 |
| Glütsiin | 71 | 41 | 42 | 154 | 68 | 47 | 32 | 146 |
| Histidiin | 33 | 20 | 22 | 75 | 32 | 23 | 22 | 77 |
| Isoleutsiin | 67 | 36 | 35 | 138 | 64 | 42 | 38 | 144 |
| Leutsiin | 116 | 66 | 54 | 236 | 110 | 77 | 57 | 243 |
| Lüsiin | 84 | 36 | 48 | 168 | 80 | 42 | 46 | 167 |
| Metioniin | 26 | 14 | 22 | 63 | 25 | 17 | 8 | 49 |
| Proliin | 137 | 105 | 51 | 293 | 130 | 122 | 32 | 283 |
| Seriin | 72 | 38 | 31 | 141 | 69 | 44 | 32 | 144 |
| Treoniin | 69 | 34 | 34 | 137 | 66 | 39 | 25 | 130 |
| Trüptofaan | 17 | 12 | 10 | 39 | 16 | 14 | 10 | 40 |
| Tsüsteiin | 17 | 21 | 25 | 62 | 16 | 24 | 3 | 43 |
| Türosiin | 49 | 26 | 25 | 99 | 47 | 30 | 22 | 98 |
| Valiin | 87 | 50 | 32 | 169 | 83 | 58 | 38 | 179 |
| Kokku | 1409 | 901 | 742 | 3051 | 1339 | 1040 | 693 | 3072 |
| Söömus | Katsevariant 3 (M+R) | | | | Katsevariant 4 (M+S) | | | |
| | Silo | Maisijahu | Rapsikook | Kokku | Silo | Maisijahu | Sojasrott | Kokku |
| Kuivaine, kg | 9,8 | 5,7 | 3,1 | 18,6 | 9,2 | 7,4 | 2,3 | 18,9 |
| Proteiin, g | 1787 | 487 | 1090 | 3364 | 1706 | 633 | 1135 | 3474 |
| Metaboliseeruv proteiin, g | 749 | 671 | 436 | 1856 | 707 | 873 | 446 | 2026 |
| Aminohapped, g | | | | | | | | |
| Alaniin | 91 | 35 | 48 | 174 | 87 | 45 | 49 | 181 |
| Arginiin | 83 | 23 | 62 | 167 | 79 | 30 | 82 | 191 |
| Aspargiinhape | 193 | 33 | 81 | 306 | 184 | 43 | 116 | 343 |
| Fenüülalaniin | 80 | 24 | 46 | 149 | 76 | 31 | 61 | 167 |
| Glutamiinhape | 154 | 92 | 186 | 433 | 147 | 120 | 194 | 461 |
| Glütsiin | 76 | 18 | 57 | 151 | 72 | 24 | 49 | 145 |
| Histidiin | 35 | 13 | 29 | 78 | 34 | 17 | 34 | 85 |
| Isoleutsiin | 72 | 19 | 47 | 138 | 69 | 25 | 58 | 151 |
| Leutsiin | 123 | 60 | 73 | 256 | 117 | 78 | 87 | 282 |
| Lüsiin | 89 | 14 | 65 | 168 | 85 | 18 | 70 | 174 |
| Metioniin | 28 | 10 | 30 | 68 | 26 | 13 | 12 | 52 |
| Proliin | 145 | 43 | 68 | 257 | 139 | 56 | 49 | 244 |
| Seriin | 77 | 23 | 42 | 141 | 73 | 30 | 49 | 152 |
| Treoniin | 74 | 18 | 46 | 137 | 70 | 23 | 39 | 132 |
| Trüptofaan | 18 | 4 | 14 | 35 | 17 | 5 | 16 | 37 |
| Tsüsteiin | 18 | 10 | 33 | 61 | 17 | 13 | 5 | 34 |
| Türosiin | 52 | 18 | 33 | 103 | 50 | 23 | 34 | 107 |
| Valiin | 92 | 25 | 43 | 159 | 88 | 32 | 58 | 178 |
| Kokku | 1499 | 481 | 1002 | 2981 | 1430 | 624 | 1061 | 3115 |

Tabel 9. Vatsas lõhustumata proteiinist peensooles imendunud eri söötadega saadud proteiini ja sh erinevate aminohapete kogused (g) eri katsevariantide korral.

| Näitajad | Katsevariant 1 (O+R) | | | | Katsevariant 2 (O+S) | | | |
|---|----------------------|----------|-----------|-------|----------------------|----------|-----------|-------|
| | Silo | Odrajahu | Rapsikook | Kokku | Silo | Odrajahu | Sojasrott | Kokku |
| Proteiini lõhustuvus vatsas, % | 89,8 | 59,9 | 70,2 | | 89,8 | 59,9 | 56,3 | |
| Vatsas lõhustumata proteiin, g | 171 | 414 | 241 | 826 | 163 | 477 | 324 | 965 |
| Vatsas lõhustumata proteiinist peensooles imendunud AH, g | 91 | 288 | 168 | 547 | 87 | 333 | 226 | 646 |
| Aminohapped, g | | | | | | | | |
| Alaniin | 6 | 13 | 8 | 27 | 5 | 15 | 10 | 30 |
| Arginiin | 5 | 15 | 10 | 30 | 5 | 17 | 18 | 39 |
| Aspargiinhape | 12 | 18 | 14 | 43 | 11 | 21 | 25 | 57 |
| Fenüülalaniin | 5 | 16 | 8 | 28 | 5 | 18 | 13 | 36 |
| Glutamiiinhape | 9 | 68 | 31 | 108 | 9 | 78 | 41 | 128 |
| Glütsiin | 5 | 13 | 10 | 27 | 4 | 15 | 10 | 30 |
| Histidiin | 2 | 6 | 5 | 14 | 2 | 7 | 7 | 17 |
| Isoleutsiin | 4 | 12 | 8 | 24 | 4 | 13 | 12 | 30 |
| Leutsiin | 8 | 21 | 12 | 41 | 7 | 25 | 19 | 50 |
| Lüsiin | 6 | 12 | 11 | 28 | 5 | 13 | 15 | 34 |
| Metioniin | 2 | 5 | 5 | 11 | 2 | 5 | 3 | 10 |
| Proliin | 9 | 34 | 11 | 54 | 8 | 39 | 10 | 58 |
| Seriin | 5 | 12 | 7 | 24 | 4 | 14 | 10 | 29 |
| Treoniin | 5 | 11 | 8 | 23 | 4 | 12 | 8 | 25 |
| Trüptofaan | 1 | 4 | 2 | 7 | 1 | 4 | 3 | 9 |
| Tsüsteiin | 1 | 7 | 6 | 13 | 1 | 8 | 1 | 10 |
| Türosiin | 3 | 8 | 6 | 17 | 3 | 9 | 7 | 20 |
| Valiin | 6 | 16 | 7 | 29 | 5 | 19 | 12 | 36 |
| Kokku | 92 | 288 | 168 | 548 | 87 | 333 | 226 | 645 |
| Näitajad | Katsevariant 3 (M+R) | | | | Katsevariant 4 (M+S) | | | |
| | Silo | Odrajahu | Rapsikook | Kokku | Silo | Odrajahu | Sojasrott | Kokku |
| Proteiini lõhustuvus vatsas, % | 89,8 | 33,9 | 70,2 | | 89,8 | 33,9 | 56,3 | |
| Vatsas lõhustumata proteiin, g | 182 | 322 | 325 | 830 | 174 | 419 | 496 | 1089 |
| Vatsas lõhustumata proteiinist peensooles imendunud AH, g | 97 | 225 | 227 | 548 | 93 | 292 | 346 | 730 |
| Aminohapped, g | | | | | | | | |
| Alaniin | 6 | 16 | 11 | 33 | 6 | 21 | 16 | 43 |
| Arginiin | 5 | 11 | 14 | 30 | 5 | 14 | 27 | 46 |
| Aspargiinhape | 13 | 15 | 18 | 46 | 12 | 20 | 38 | 70 |
| Fenüülalaniin | 5 | 11 | 10 | 27 | 5 | 14 | 20 | 39 |
| Glutamiiinhape | 10 | 43 | 42 | 95 | 10 | 56 | 63 | 129 |
| Glütsiin | 5 | 9 | 13 | 26 | 5 | 11 | 16 | 32 |
| Histidiin | 2 | 6 | 7 | 15 | 2 | 8 | 11 | 21 |
| Isoleutsiin | 5 | 9 | 11 | 24 | 4 | 12 | 19 | 35 |
| Leutsiin | 8 | 28 | 17 | 52 | 8 | 36 | 28 | 72 |
| Lüsiin | 6 | 6 | 15 | 27 | 6 | 8 | 23 | 37 |
| Metioniin | 2 | 5 | 7 | 13 | 2 | 6 | 4 | 12 |
| Proliin | 9 | 20 | 16 | 45 | 9 | 26 | 16 | 51 |
| Seriin | 5 | 11 | 9 | 25 | 5 | 14 | 16 | 35 |
| Treoniin | 5 | 8 | 10 | 24 | 5 | 11 | 13 | 28 |
| Trüptofaan | 1 | 2 | 3 | 6 | 1 | 2 | 5 | 8 |
| Tsüsteiin | 1 | 5 | 8 | 13 | 1 | 6 | 2 | 9 |
| Türosiin | 3 | 8 | 8 | 19 | 3 | 11 | 11 | 25 |
| Valiin | 6 | 12 | 10 | 27 | 6 | 15 | 19 | 40 |
| Kokku | 97 | 225 | 227 | 549 | 93 | 292 | 346 | 731 |

Kõrgetoodangulistel lehmadel ei piisa piimavalgu sünteesiks mikroobest proteiinist vaid suur osa vajaminevatest aminohapetest peab pärinema vatsas lõhustumatust kuid samas peensooles imenduvast proteiinist. NRC (1989) normides on toodud teoreetiline kalkulatsioon selle kohta, kui palju peaks peensooles imenduvatest aminohapetest pärinema mikroobsest proteiinist ja kui palju söödaproteiinist. Lehma aminohapete tarve ja erinevat päritolu aminohapete vajadus on arvestatud eeldusel, et keskmiselt sünteesitakse ühe kilogrammi seedunud orgaanilise aine kohta 30 g mikroobset lämmastikku. Sellisel juhul peaks peensoolde jõudvate mikroobse päritoluga aminohape osatähtsus olema lehmäl, kes lüpsab 25 kg piima päevas 73%, 35 kg lüpsval lehmäl 64% ning 45 kg lüpsval lehmäl 59%. Seega peab mööduva proteiini kogus olema vastavalt 27%, 34% ja 41%, ehk et mida suurem on piimatoodang, seda rohkem peab söödaratsioon sisaldama vatsast mööduvat proteiini.

Uurides antud katse raames mõlemast proteiinsöödast pärineva mööduva proteiini aminohappelise profiili sobivust piimavalgu aminohappelise profiiliga, leidsime, et esimeseks limiteerivaks aminohappeks kõikide katsevariantide korral oli lüsiin. Seda näitasid ka eespool (tabel 7) toodud tulemused söötade vatsas lõhustuvusest ja peensooles imendumisest, kus rapsi- ja päevalillekoogi korral on vatsas mööduvat asendamatute aminohapete hulga limiteerivaks aminohappeks lüsiin ning sojakoogi ning -sroti korral metioniin. Võttes arvesse piima lüsiinisalduse (vt tabel 3; 7,98 g 100 g proteiinis), peensooles vatsas mööduvast proteiinist imendunud lüsiini hulga (vt tabel 9) ja erinevate katsevariantide piimavalgu toodangu arvutasime kui palju saab piimavalgu sünteesida erinevate katsevariantide korral: odrajahu ja rapsikoogi korral 351 g, odrajahu ja sojasroti korral 426 g, maisijahu ja rapsikoogi korral 338 g ja maisijahu ja sojasroti korral 464 g. Kogu piimavalgust moodustas mööduva proteiini arvelt sünteesitud piimavalgu hulk vastavalt katsevariantidele 36 %, 45 %, 34 % ja 50 %. Võrreldes antud tulemusi eespool toodud NRC (1989) soovituslike normidega peaks antud katse piimatoodangu (31,5...32,0 kg päevas) korral olema võimalik mööduva proteiini arvelt sünteesida piimavalgu orienteeruvalt 32%. Võttes arvesse nüüd ka elatuseks kuluva lüsiini koguse oligi see arvestuslikult rapsikooki saanud lehmadel nii. Sojasrotiga söödetud lehmadel moodustas aga mööduva proteiini arvelt sünteesitud piimavalk suurema osa, mille tingis sojasroti proteiini väiksem lõhustuvus vatsas.

Nagu eespoolt näha, siis mööduva proteiini arvelt ei ole täielikult võimalik katta lehmade keha ja piimavalgu sünteesiks vajaminevate aminohapete hulka. Arvesse tuleb võtta ka vatsas sünteesitud mikroobse proteiini (aminohapete) hulk. Antud katses sünteesisid mikroobest proteiini kõige enam odrajahu ja rapsikooki ning kõige vähem maisijahu ja sojasroti söönud lehmad (2226 g *versus* 1576 g päevas). Leidmaks aminohapete kasutamise efektiivsust arvutasime aminohapete bilansi (tabel 10). Aluseks võtsime üheltpoolt vatsas sünteesitud mikroobse proteiini ja vatsas lõhustumatu proteiini aminohapete imendumise peensooles ning teiselt poolt lehmadel elatuseks (kehavalkude taastootmiseks) ja piimavalgu tootmiseks kulunud aminohapete hulga. Mikroobse proteiini ja kehavalgu aminohappeline profiil koostamiseks kasutati kirjanduse andmeid (Larsen jt, 2001; NRC, 2001).

Aminohapete bilanss näitab seda, et võttes arvesse lisaks mööduvale proteiinile ka vatsas sünteesitud mikroobne proteiin, siis on piima valgusünteesil kõikide katsevariantide korral esimeseks limiteerivaks aminohappeks histidiin. See on kooskõlas soome teadlaste uuringutega, kes kinnitavad, et kõrrelistest heintaimedest valmistatud silo ja teraviljajahust koosneva jõusööda söötmisel on piimatootmisel esimeseks limiteerivaks aminohappeks histidiin ning alles seejärel kas lüsiin või metioniin (Korhonen jt, 2002).

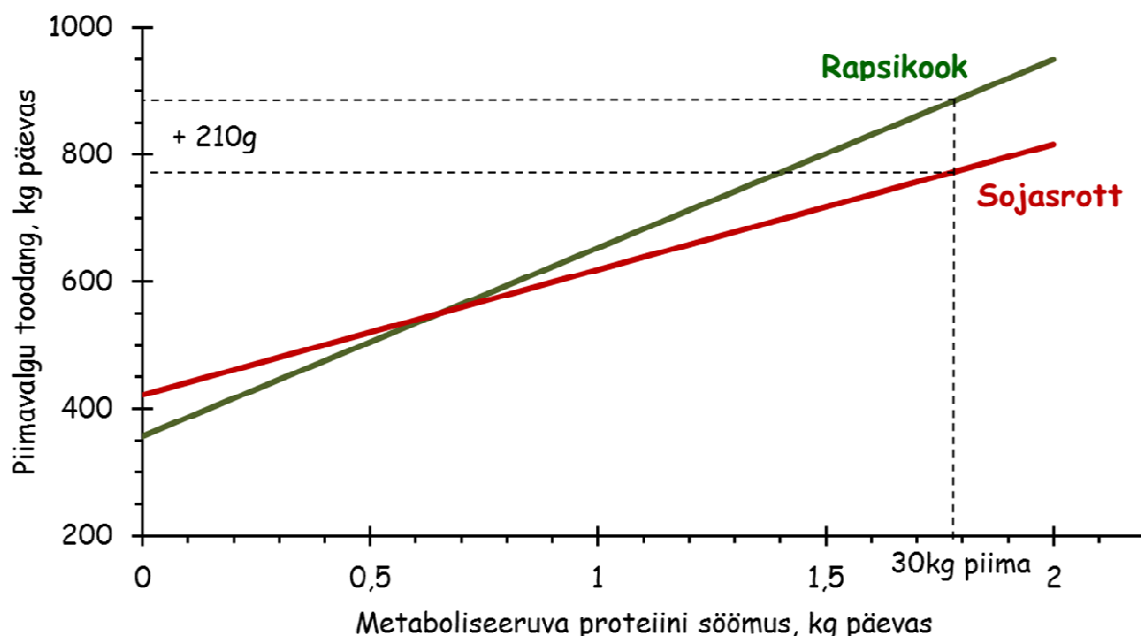
Tabel 10. Asendamatu aminohapete bilans erinevate katsevariantide puhul.

| Amino- happed | Vatsas möödunud ja peensooles imendunud AH-d, g | Peensooles imendunud mikroobsed AH-d, g | Peensooles kokku imendunud AH-te summa | Piima vajaminevad AH-d, g | Elatuseks vajaminevad AH,-d g | Piima sünteesiks ja elatuses vajaminevad AH-d kokku, g | AH-te bilanss, g |
|---|---|--|---|---------------------------------|-------------------------------------|--|---------------------|
| Katsevariant 1 - odrajahu ja rapsikook | | | | | | | |
| Kokku | 547 | 1331 | 1878 | 912 | 439 | 1351 | 527,0 |
| Fenüülalaniin | 28 | 56 | 84 | 41 | 16 | 57 | 27,6 |
| Histidiin | 13 | 34 | 47 | 28 | 12 | 41 | 6,6 |
| Isoleutsiin | 24 | 76 | 100 | 46 | 25 | 71 | 28,9 |
| Leutsiin | 41 | 99 | 140 | 89 | 30 | 119 | 21,6 |
| Lüsiin | 28 | 107 | 134 | 78 | 28 | 106 | 28,7 |
| Metioniin | 11 | 27 | 38 | 22 | 5 | 27 | 10,9 |
| Treoniin | 23 | 70 | 93 | 49 | 22 | 71 | 21,4 |
| Trüptofaan | 7 | 17 | 24 | 9 | 5 | 14 | 10,3 |
| Valiin | 29 | 84 | 113 | 46 | 21 | 67 | 46,5 |
| Katsevariant 2 - odrajahu ja sojasrott | | | | | | | |
| Kokku | 646 | 1279 | 1925 | 892 | 439 | 1331 | 594,0 |
| Fenüülalaniin | 36 | 54 | 90 | 40 | 16 | 56 | 33,7 |
| Histidiin | 17 | 33 | 49 | 28 | 12 | 40 | 9,2 |
| Isoleutsiin | 30 | 73 | 103 | 45 | 25 | 70 | 32,9 |
| Leutsiin | 50 | 95 | 146 | 87 | 30 | 117 | 29,0 |
| Lüsiin | 33 | 102 | 136 | 76 | 28 | 104 | 31,9 |
| Metioniin | 10 | 26 | 35 | 22 | 5 | 27 | 8,6 |
| Treoniin | 25 | 67 | 92 | 48 | 22 | 70 | 21,8 |
| Trüptofaan | 9 | 17 | 25 | 9 | 5 | 14 | 11,4 |
| Valiin | 36 | 81 | 117 | 45 | 21 | 66 | 51,7 |
| Katsevariant 3 - maisijahu ja rapsikook | | | | | | | |
| Kokku | 548 | 983 | 1531 | 915 | 428 | 1343 | 188,0 |
| Fenüülalaniin | 27 | 41 | 68 | 41 | 15 | 57 | 11,3 |
| Histidiin | 15 | 25 | 40 | 28 | 12 | 40 | -0,3 |
| Isoleutsiin | 24 | 56 | 80 | 47 | 24 | 71 | 9,8 |
| Leutsiin | 52 | 73 | 126 | 89 | 29 | 118 | 7,6 |
| Lüsiin | 27 | 79 | 106 | 78 | 27 | 105 | 0,5 |
| Metioniin | 13 | 20 | 33 | 22 | 5 | 27 | 6,0 |
| Treoniin | 23 | 52 | 75 | 50 | 21 | 71 | 4,1 |
| Trüptofaan | 6 | 13 | 19 | 9 | 5 | 14 | 4,8 |
| Valiin | 27 | 62 | 89 | 46 | 21 | 66 | 23,1 |
| Katsevariant 4 - maisijahu ja sojasrott | | | | | | | |
| Kokku | 730 | 938 | 1668 | 859 | 436 | 1295 | 373,0 |
| Fenüülalaniin | 39 | 39 | 78 | 39 | 16 | 54 | 24,0 |
| Histidiin | 21 | 24 | 45 | 27 | 12 | 39 | 6,2 |
| Isoleutsiin | 35 | 54 | 88 | 44 | 24 | 68 | 20,3 |
| Leutsiin | 72 | 70 | 142 | 84 | 30 | 113 | 29,1 |
| Lüsiin | 37 | 75 | 112 | 73 | 28 | 101 | 10,9 |
| Metioniin | 12 | 19 | 31 | 21 | 5 | 26 | 5,0 |
| Treoniin | 28 | 49 | 77 | 47 | 22 | 68 | 9,0 |
| Trüptofaan | 8 | 12 | 21 | 8 | 5 | 14 | 7,0 |
| Valiin | 40 | 59 | 99 | 43 | 21 | 64 | 35,2 |

Võrreldes antud katse tulemuste valguses kahte Eestis enam kasutatavat proteiinsööta, siis tuleb tõdeda, et sojasrotti saanud lehmadel imendus, võrreldes rapsikooki söönud lehmadega küll peensooles nii mikroobsest kui möödumast proteiinist pärit aminohappeid rohkem (oli suurem metaboliseeruva proteiini söömus), kuid piima jõudluses väljendus see pigem vastupidiselt. Kui katsegruppide piimatoodangute vahel statistiline erinevus puudus, siis rapsikooki, võrreldes sojasrotti, söönud lehmadel oli piimavalgu sisaldus ja toodang statistiliselt oluliselt suurem ($P < 0,05$), vastavalt 3,08 % versus 2,97 % ja 0,978 kg versus 0,937 kg.

Söödaproteiini konversioon toodangu proteiiniks oli numbriliselt efektiivsem rapsikooki söönud lehmadel kui sojasrotti söönutel (28,3 % versus 26,8 %), samas statistiline usutavus katserühmade vahel siiski puudus. Vaadates aga söödaratsiooni aminohapete konversiooni toodangu aminohapeteks oli statistiliselt oluline ($P < 0,005$) eelis rapsikooki söönud lehmadel (52,9 % versus 48,1 %). Viimast kinnitab ka aminohapete bilansi arvutus (vt tabel 10), kust on näha, et rapsikooki söönud lehmad kasutavad imendunud aminohappeid ära efektiivsemalt, mistõttu nende jääk on väiksem ja neid eritatakse lämmastiku näol vähem keskkonda tagasi.

Rapsikoogi eelist sojasrotti ees kinnitavad ka andmed kirjandusest (joonis 6). Huhtanen jt. (2011) leidsid metaanalüüsil, kui 30 kg lüpssev lehm vajab orienteeruvalt 1,8 kg metaboliseeruvat proteiini päevas ja see vajadus kaetakse rapsikookiga, siis lüpsab ta 210 g piimavalgu päevas enam kui metaboliseeruva proteiini tarve kaetakse sojasrotiga. Põhjus on siin arvatavasti selles, et soovitud metaboliseeruva proteiini tarbe katmiseks tuleb ratsiooni lülitada orienteeruvalt kas 3 kg rapsikooki või 2 kg sojasrotti. Antud juhul tekib rapsikoogi puhul vatsas enam mikroobest proteiini, mille aminohappeline profiil on aga piimavalgu tootmiseks sobivam kui vatsast möödaval söödaproteiinil. Enama sojasroti lülitamist ratsiooni piirab aga selle liialt suur proteiinisisaldus.



Joonis 6. Metaboliseeruva proteiini söömuse ja piima valgutoodangu seos (koostatud Huhtanen jt., 2011 järgi)

4. Soovituslike jõusööda retseptide koostamisaluste täpsustamine lähtudes proteiini tarbe katmisest erineva söötmiskorraldusega farmides

Käesoleva projekti raames täpsustati jõusööda koostamise põhimõtteid nii täisratsioonilist (lüpsiplatsiga) kui osaratsioonilist segasööta (lüpsirobotitega) söötvates farmides (koostati optimaalsed jõusöödaretseptid), arvestades põhisööda toiteväärtust. Vaatluse alla võeti ka maisisilo sisaldavad söödaratsioonid, sest viimasel aastatel on Eestis maisi kasvupind jõudsalt kasvanud. Kui projekti esimesel aastal kasvatati maisi 2147 ha, siis projekti viimasel aastal oli see juba 7400 ha.

4.1. Söödaratsiooni, sh jõusööda retsepti, koostamise alused lüpsiplatsiga farmides

Erineva lüpsitehnoloogiaga farmides on söötmiskorraldus korraldatud erinevalt. Lüpsiplatsiga vabapidamise farmides kasutatakse täisratsioonilise segasööda valmistamiseks peamiselt omakasvatatud rohusööta ja teravilja, proteiin- ja mineraal-vitamiinisööt ostetakse. Sedasi toimides saab loomade söötmist täpselt, vastavalt oma põhisöödale, igapäevaselt korraldada. Samas on aga kõikide söötade ükshaaval söödasegajasse kaalumise aeganõudev, lisaks võib söödavalmistaja lisatavate söödakogustega eksida. Võttes arvesse viimast ja söötmiskorralduse lihtsustamist on paljud farmid hakanud kasutama oma rohusöödale vastavat ja eelnevalt farmis valmissegatud segajõusööta. Seda on soodustanud ka asjaolu, et paljud piimatootmisega tegelevad ettevõtted kasvatavad omale vajaliku söödateravilja ise. Lisaks sellele, on täna Eesti turul mitmeid mobiilse veskiga varustatud jõusööda valmistamise teenuse pakkujaid, kellega me projekti eesmärkidest lähtudes tihedat koostööd tegime. Farmerid ise peavad majandis kohapeal valmistatud jõusööta odavamaks kui jõusööda tehastest pakutavat. Lisaks peetakse mobiilset jõusööda valmistamist väga paindlikuks, sest see võimaldab parimal moel tasakaalustada söödaratsioonid olenevalt kasutatavatest söötadest ja nende kvaliteedist.

Tabelis 11 on toodud lehmade söödaratsioonide koostised rohu- ja maisisilo kasutamise korral kahes vabapidamisega farmis. Ratsioonide koostamisel prognoositi esmalt kuivaine söömused, milleks arvestati 37 kg EKM-piima lüpsvate lehmade puhul ca' 23 kg päevas. Tuleb mainida, et söödaratsioonide koostamisel on just erinevate söötmisgruppide kuivaine prognoosimine osutunud kõige raskemaks. Üldjuhul arvestatakse söötmisgrupi lehmade keskmisest kehakaalu ja laktatsioonistaadiumit. Lisaks tuleb aga kindlasti arvestada söötade kvaliteeti (eriti silo rakukestaainete hulka ja koostist ning fermentatsiooni kvaliteeti), söödaratsiooni kuivainesisaldust, söötmise taset ning kore- ja jõusööda vahekorda.

Jõusööda kasutamise strateegia on rohu- ja maisisilo kooskasutamisel mõnevõrra erinev kui ainult rohusilo kasutamise korral. Viimasel juhul võib jõusööt söödaratsiooni kuivainest moodustada kuni 60%. Maisisilo lülitamisel söödaratsiooni ei tohiks jõusööda osatähtsus söödaratsiooni kuivainest reeglina üle 50% ulatuda. Õigem on sellisel juhul jälgida söödaratsiooni tärglisesisaldust, mis ei tohiks olla suurem kui 280 g/kg söödaratsiooni kuivaines. Vaatlusaluses farmis B jäigi tärglisesisaldus lubatud piiridesse. Mõlema farmi söödaratsioonid sisaldavad 16% proteiini, kuid silode erineva proteiinisalduse tõttu (rohusilo 15% vs. maisisilo 7,7%) pidid vaatlusalused farmid kasutama erineva proteiinisaldusega segajõusööta (20,7% vs. 16,8%). Farmis B kasutati proteiinsöödana ka sojasrotti, sest ainult rapsikoogiga ei ole lehmade proteiini tarvet võimalik katta. Põhjuseks on rapsikoogis olev toorrasva kogus, mis lehma kohta päevas ei tohi ületada 500g. Sojasroti suuremast metaboliseeruva proteiini sisaldusest tingituna on farmi B jõusöödas mõnevõrra suurem ka antud näitaja sisaldus. Mineraal-vitamiinsööda osa jõusöödas on suurem farmis B. See on

tingitud maisisilo madalamast kaltsiumisisaldusest, mistõttu jõusööda segusse tuleb loomade kaltsiumitarbe rahuldamiseks sisse arvestada söödakriit.

Tabel 11. Söödaratsioonide koostised rohu- ja maisisilo kasutamise korral vabapidamisega farmides, arvestusega et lehmad lüpsavad 37 kg EKM-piima päevas.

| Näitajad | Farm A | Farm B |
|----------------------------------|--------|--------|
| Ennustatav kuivaine söömumus, kg | 23,2 | 23,1 |
| Ratsioonid: | | |
| proteiini, g/kg | 160,3 | 160,5 |
| metaboliseeruvat proteiini, g/kg | 97,5 | 98,2 |
| metaboliseeruvat energiat, MJ/kg | 11,23 | 11,32 |
| Ratsiooni koostis, % kuivaines | | |
| rohusilo | 41 | 21,65 |
| maisisilo | - | 21,65 |
| hein | 3,6 | 4,3 |
| jõusööt | 55,4 | 51,9 |
| mineraal-vitamiin sööt | - | 0,5 |
| Jõusöödas: | | |
| proteiini, g/kg | 168 | 206,6 |
| metaboliseeruvat proteiini, g/kg | 114,2 | 117,1 |
| metaboliseeruvat energiat, MJ/kg | 12,67 | 12,76 |
| Jõusööda koostis, % kuivaines | | |
| teravili | 76,5 | 68,1 |
| rapsikook | 20,9 | 19,1 |
| sojasrott | - | 8,4 |
| mineraal-vitamiin sööt | 2,6 | 4,3 |

Farmi A ja B lehmade aminohapete tarbe katmist iseloomustab tabel 12. Nagu näha, siis ainult mikroobse proteiiniga lehmadele aminohapete tarvet elatuseks ja piimatootmiseks ei kata. Ratsioon peab sisaldama ka vatsast mööduva proteiini allikaid. Meie senised uuringud on näidanud, et eelistatuim allikas selleks on kuumpressitud rapsikook ja seejärel sojasrott. Nii farmis A kui B jääb 40 kg EKM-piimatoodangu korral histidiini vajadus katmata. Farmis A on võrreldes farmiga B puudujääk natuke suurem. Viimane peegeldub ka mõnevõrra erinevas söödaratsioonide metaboliseeruva proteiini sisaldustes (tabel 11). Mõlema farmi söödaratsioonid koostati 37 kg EKM-piima tootmiseks. Võib arvata, et lehmad kes lüpsavad 40 kg ja enam ja kelle piima valgusisaldus ei lange alla 3,4 % söövad antud toitfaktoritega söödaratsiooni kuivainet mõnevõrra enam kui aga mitte, siis nende piima valgusisaldus langeb. Teadaolevalt sünteesivad lehmad kõigepealt omale vajamineva kehavalgu ja alles siis niipalju piimavalgu kui seda lubab sünteesida esimene limiteeriv aminohape.

Tabel 12. Aminohapete tarbe katmine rohu- ja maisisilo kasutamise korral vabapidamisega farmides, arvestades 3,4 % valku sisaldavat piimatoodangut.

| Asendamatud aminohapped | Vajadus piimatootmiseks ja | | Farm A | | Farm B | | Farm A | | Farm B | | Farm A | | Farm B | |
|-------------------------|----------------------------|-------|--|-------|--------|-------|---|------|--------|------|---|-------|--------|-------|
| | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 |
| Piim, kg | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 |
| | | | Kaetakse mikroobse päritolu AH-ga, % tarbest | | | | Kaetakse vatsast mööduva sööda AH-ga, % tarbest | | | | Kaetakse mikroobse päritolu ja vatsast mööduva sööda AH-ga, % tarbest | | | |
| Fenüülalaniin | 62,1 | 77,4 | 139,6 | 112,0 | 140,9 | 113,0 | 45,3 | 36,4 | 48,6 | 39,0 | 184,9 | 148,4 | 189,5 | 152,1 |
| Histidiin | 44,3 | 54,8 | 74,0 | 59,8 | 74,7 | 60,3 | 33,0 | 26,7 | 37,8 | 30,5 | 107,0 | 86,4 | 112,5 | 90,8 |
| Isoleutsiin | 77,0 | 94,3 | 140,1 | 114,5 | 141,5 | 115,5 | 33,2 | 27,1 | 36,4 | 29,7 | 173,3 | 141,6 | 177,8 | 145,3 |
| Leutsiin | 129,7 | 162,8 | 94,6 | 75,4 | 95,4 | 76,1 | 34,0 | 27,1 | 37,7 | 30,0 | 128,6 | 102,5 | 133,1 | 106,1 |
| Lüsiin | 115,4 | 144,4 | 111,9 | 89,4 | 112,9 | 90,3 | 26,5 | 21,2 | 28,4 | 22,7 | 138,4 | 110,6 | 141,4 | 113,0 |
| Metioniin | 29,8 | 38,0 | 115,4 | 90,3 | 116,5 | 91,2 | 36,2 | 28,3 | 36,4 | 28,5 | 151,6 | 118,7 | 152,9 | 119,7 |
| Treoniin | 77,6 | 96,0 | 111,7 | 90,3 | 112,7 | 91,1 | 32,1 | 25,9 | 31,9 | 25,8 | 143,7 | 116,2 | 144,6 | 117,0 |
| Trüptofaan | 15,2 | 18,5 | 107,4 | 88,4 | 108,4 | 89,2 | 48,3 | 39,8 | 55,5 | 45,7 | 155,8 | 128,2 | 163,9 | 134,9 |
| Valiin | 72,5 | 89,5 | 153,4 | 124,3 | 154,9 | 125,5 | 43,3 | 35,1 | 44,5 | 36,1 | 196,7 | 159,4 | 199,4 | 161,6 |

4.2. Söodaratsiooni, sh jõusööda retsepti, koostamise alused robotlüpsiga farmides

Robotlüpsiga farmides on söodaratsioonide koostamine tunduvalt keerulisem. Strategia oleneb sellest, kas lehma saab grupeerida ja kas farmis on lisaks täiendava jõusööda söötamiseks olemas selveküna. Grupeerimise võimaluse olemasolul koostatakse suuretoodanguliste lehmadele energiarikkam osaratsiooniline segasööt (ORSS) kui väikese toodanguga lehmadele. Selveküna olemasolul saame nii grupeeritavas kui mitte grupeeritavas karjas suuretoodanguliste lehmadele energia ja proteiini tarbe katmiseks jõusööta lisaks sööta.

Tabelis 13 on toodud lehmade söodaratsioonid ja jõusööda koostised farmides, milles olid või ei olnud olemas täiendava jõusööda söötamiseks selveküna. Võrdluseks on toodud ratsioonide variandid lehmadele, kes lüpsavad kas 30 või 40 kg piima päevas rohusilo erineva proteiinisalduse ja maisisilo kasutamise või mittekasutamise korral.

Ka lüpsirobotiga farmides prognoositi söodaratsioonide koostamisel esmalt kuivaine söömused, milleks arvestati 30 kg lüpsvate lehmade puhul 22...23 kg päevas ja 40 kg lüpsvate lehmade puhul 24...25 kg päevas. Söodaratsioonide metaboliseeruva energia ja proteiinisaldus kõikus olenevalt arvestuslikust piimatoodangust vastavalt 10,8...11,6 MJ/kg kuivaines ja 15,8...17,1%. Söodaratsioonide energiasaldus kujunes mõnevõrra suuremaks nendes farmides kus oli kasutusel maisisilo ja selveküna, väiksemaks aga nendes farmides, kus kasutati koresöödana ainult rohusilo ja selveküna ei olnud. Söodaratsioonide proteiinisaldus nii selgelt ei eristunud.

Robotfarmide söodaratsiooni koostamisel tuleb ühe komponendina määratleda ORSS arvestuslik söömus, mis antud juhul oli arvestatud, olenevalt toodangust, 17...19 kg kuivainet päevas. ORSS energiasalduseks arvestati (olenevalt maisisilo kasutamisest või mittekasutamisest) 9,9...11,0 MJ/kg kuivaines ja proteiinisalduseks 14,1...16,1 %, soovituslikult 15 %. Peame arvestama, et suuretoodanguliste lehmade proteiini- ja energiatarvet on võimalik katta robotist antava jõusöödaga. Väiksema toodanguga lehmad omavad kõrge ORSS-i proteiinkontsentratsiooni korral veel potentsiaali toodangut laktatsiooni lõpuni säilitada, mistõttu nad ei rasvu nii kiiresti. Grupeerimisvõimalusega farmis, kus puudub selveküna, tuleb loomade energia ja proteiinitarbe katmise vajadusest lähtuvalt arvestada vajadusega lisada ORSS-ta teravilja ja/või proteiinsööta. Samas oleme ORSS jõusöödana kulude kokkuhoidmise eesmärgil kasutanud robotist antavat jõusööta.

Tabel 13. Ratsioonide koostised erineva rohusööda proteiinisalduse ja maisisilo kasutamise korral robotlüksiga farmides

| Näitajad | RS 13% PR + RJS + SKJS | | RS 13% PR + MS + RJS + SKJS | | RS 17% PR + RJS + SKJS | | RS 17% PR + MS + RJS + SKJS | | RS 13% PR + RJS | | RS 13% PR + MS + RJS | | RS 17% PR + RJS | | RS 17% PR + MS + RJS | |
|---|------------------------|------|-----------------------------|------|------------------------|------|-----------------------------|------|-----------------|------|----------------------|------|-----------------|------|----------------------|------|
| Piim, kg | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 |
| Ennustatav kuivaine söömus, kg | 22,5 | 24,5 | 22,0 | 24,5 | 22,5 | 24,5 | 22,5 | 25,0 | 23,0 | 24,5 | 22,0 | 24,0 | 22,0 | 25,0 | 22,0 | 25,0 |
| Ratsioonis: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| proteiini, g/kg | 169 | 169 | 158 | 162 | 167 | 168 | 168 | 169 | 167 | 170 | 168 | 171 | 167 | 167 | 163 | 164 |
| metaboliseeruvat proteiini, g/kg | 92 | 95 | 98 | 100 | 92 | 94 | 92 | 93 | 96 | 98 | 100 | 101 | 94 | 95 | 97 | 98 |
| metaboliseeruvat energiat, MJ/kg | 10,9 | 11,1 | 11,0 | 11,3 | 10,9 | 11,1 | 10,9 | 11,0 | 10,8 | 11,0 | 11,2 | 11,4 | 11,0 | 11,1 | 11,4 | 11,5 |
| Ennustatav ORSS söömus, kg | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 18,0 | 19,0 | 18,5 | 18,0 | 18,0 | 18,0 | 19,0 | 18,0 | 19,0 |
| ORSS-s: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| proteiini, g/kg | 156 | | 142 | | 165 | | 141 | | 158 | | 161 | | 160 | | 157 | |
| metaboliseeruvat proteiini, g/kg | 88 | | 91 | | 83 | | 87 | | 91 | | 95 | | 88 | | 93 | |
| metaboliseeruvat energiat, MJ/kg | 9,9 | | 10,6 | | 10,1 | | 10,7 | | 10,4 | | 10,9 | | 10,6 | | 11,0 | |
| ORSS koostis, % kuivaines | | | | | | | | | | | | | | | | |
| rohusilo | 73,9 | | 40,6 | | 73,9 | | 40,6 | | 60,4 | | 34,6 | | 60,5 | | 33,0 | |
| maisisilo | - | | 33,3 | | - | | 33,3 | | - | | 27,5 | | - | | 27,5 | |
| roboti jõusööta | 25,0 | | 25,0 | | 25,0 | | 25,0 | | 38,5 | | 24,7 | | 13,2 | | 34,3 | |
| teravilja | - | | - | | - | | - | | - | | - | | 24,7 | | - | |
| rapsikooki | - | | - | | - | | - | | - | | 12,1 | | - | | - | |
| mineraal-vitamiin sööt | 1,1 | | 1,1 | | 1,1 | | 1,1 | | 1,1 | | 1,1 | | 1,1 | | 1,1 | |
| Roboti jõusööta, kg | 2,5 | 3,0 | 3,0 | 4,0 | 2,5 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 4,0 | 6,0 | 4,0 | 6,0 | 4,0 | 6,0 | 4,0 | 6,0 |
| Roboti jõusöödas: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| proteiini, g/kg | 238 | | 257 | | 141 | | 190 | | 207 | | 203 | | 196 | | 189 | |
| metaboliseeruvat proteiini, g/kg | 129 | | 133 | | 102 | | 116 | | 120 | | 118 | | 117 | | 115 | |
| metaboliseeruvat energiat, MJ/kg | 12,9 | | 13,1 | | 13,1 | | 13,0 | | 12,8 | | 12,8 | | 12,7 | | 12,8 | |
| Robotjõusööda koostis, % kuivaines | | | | | | | | | | | | | | | | |
| teravilja | 47,5 | | 48,8 | | 89,1 | | 68,0 | | 59,4 | | 65,8 | | 62,5 | | 67,0 | |
| rapsikooki | 46,8 | | 28,4 | | 5,2 | | 26,3 | | 33,9 | | 16,0 | | 30,8 | | 26,3 | |
| sojasrott | - | | 17,1 | | - | | - | | - | | 11,4 | | - | | - | |
| muu (õli, magus- või lõhnaaine, mineraal-vitamiin sööt) | 5,7 | | 5,7 | | 5,7 | | 5,7 | | 6,7 | | 6,8 | | 6,7 | | 6,7 | |
| Selväküna jõusööta, kg | 3,0 | 4,5 | 2,0 | 3,5 | 3,0 | 4,5 | 2,5 | 4,0 | | | | | | | | |
| Selväküna jõusöödas: | | | | | | | | | | | | | | | | |
| proteiini, g/kg | 153 | | 153 | | 190 | | 190 | | | | | | | | | |
| metaboliseeruvat proteiini, g/kg | 118 | | 118 | | 125 | | 125 | | | | | | | | | |
| metaboliseeruvat energiat, MJ/kg | 13,4 | | 13,4 | | 13,3 | | 13,3 | | | | | | | | | |
| Selväküna jõusööda koostis, % kuivaines | | | | | | | | | | | | | | | | |
| teravilja | 78,2 | | 78,2 | | 65,7 | | 65,7 | | | | | | | | | |
| rapsikooki | 6,9 | | 6,9 | | 16,0 | | 16,0 | | | | | | | | | |
| sojasrott | 8,0 | | 8,0 | | 11,4 | | 11,4 | | | | | | | | | |
| muu (õli, magus- või lõhnaaine, mineraal-vitamiin sööt) | 6,9 | | 6,9 | | 6,9 | | 6,9 | | | | | | | | | |

* RS-rohusilo, MS-maisisilo, PR-proteiin, RJS-jõusööt robotist, SKJS-jõusööt selvekünast

Kui robotist pakutava jõusööda energiasisaldus kõikus vähe, jäädes 12,7...13,1 MJ/kg kuivaines vahele, siis proteiinisaldus varieerus olenevalt silo olemusest ja selveküna olemasolust suuresti (14,1...25,7 %). Selvekünast pakutav jõusööt nõ standardiseeriti. Kui metaboliseeruva energia sisaldus oli 13,3 MJ/kg kuivaines siis madalama rohusilo proteiinisaldusega söödaratsioonide korral nähti ette suurema proteiinisaldusega jõusööt ja vastupidi (15,3 % vs. 19,0 %). Maisisilo kasutamise korral on robotist pakutava jõusööda proteiinisaldus suurem siis kui kasutatakse selveküna ja mõnevõrra väiksem siis kui selveküna ei kasutata. Proteiiniallikatena kasutatakse nii roboti kui selveküna jõusöödas kuumpressitud rapsikooki ja/või sojasrotti, silmas pidades rapsikoogiga peensooles imenduvat (lehmani jõudvat) toorrasva kogust, mis ei ületaks 500g päevas. Lisaks sisaldavad jõusöödad mineraal-vitamiin sööta, tolmamise vähendamiseks õli ja söödavuse parandamiseks ning lehmade ligimeelitamiseks magus- või lõhnaainet.

Selvekүнata robotfarmide lehmade aminohapete tarbe katmist iseloomustab tabel 14. Näeme, et sarnaselt tavafarmidega ainult mikroobse proteiiniga lehmadele aminohapete tarvet elatuseks ja piimatootmiseks ei kata. Samas, arvestades mikroobsest ja vatsast mööduvast proteiini koos, jätkub aminohappeid 40 kg 3,4% valgusisaldusega piima tootmiseks. Probleem tekib ainult 17%-se proteiinisaldusega rohusilo korral. Katmata jääb ka seekord histidiini tarve. Sarnast olukorda näeme ka selvekүнaga robotfarmide lehmade juures (tabel 15). Mõlemal juhul on probleemiks liiga proteiinirikas rohusilo, mis piirab enama proteiinsööda kasutamist ORSS koostises, roboti ja selveküna olemasolu korral ka selveküna jõusöödas.

Arvestada tuleb sellega, et silos olev proteiin lõhustub enamuses vatsas ja jääb reeglina ka mikroorganismide poolt piisava energia puudusel mikroobseks proteiiniks sünteesimata ja väljutatakse organismist karbamiidina. Söödaratsioonides peegeldub see suuremas positiivses vatsa proteiinibilansis (antud näidetes > +200 g päevas). Elatuseks ja piimatootmiseks vajaminev valk sünteesitakse aga veres olemasolevatest aminohapetest. Söödaratsioonides peegeldab seda metaboliseeruva proteiini sisaldus (vt tabel 3; 91...95 g/kg kuivaines). Kui nüüd tahta suure proteiinisaldusega rohusilode kasutamise korral suurendada ratsiooni metaboliseeruva proteiini sisaldust, siis tuleb meil söödaratsiooni lisada proteiinsööta. Viimasega suurendatakse küll peensoolde jõudvate aminohapete hulka, kuid ühtlasi suureneb vatsas ka lõhustuva proteiini hulk, mida mikroorganismid ei suuda energia puudusel ära kasutada, mistõttu ka see proteiin tuleb organismist karbamiidina väljutada. Organismist väljutatava karbamiidi indikaatoriks on piima karbamiidisisaldus. Kui selle sisaldus ületab piimas 300 mg liitris, siis ei saa me enam söödaratsiooni proteiinsööta lisada. Tuleb mainida, et karbamiid sünteesitakse maksas ammoniaagist, mis vatsast verre imendununa on loomorganismile toksiline ühend, põhjustades alkaalsusele kalduvat ainevahetust, sh piima ja uriini happesuse langust, mineraalelementide (magneesium, kaltsium, fosfor jt.) imendumise vähenemist, aborte ja sündivate vasikate elujõu vähenemist. Olukorra parandamiseks enamate vatsas fermenteeruvate energiaallikate (*resp.* teravilja) lisamist söödaratsiooni piirab aga selles sisalduv tärklise hulk (jõusööda osatähtsus ratsiooni kuivaines).

Siinkohal tuleb taimekasvatajatel anda oma panus ja koostada siloks kasutatavad rohuseemnesegud nii, et loomadeni jõudev rohusilo sisaldaks kuivaines 14...15% proteiini. Sellest suurem proteiinisaldus viib eelnevalt kirjeldatud probleemini, väiksem aga suurendab söödaratsioonis kasutatava proteiinsööda hulka, mis omakorda suurendab piimatootmise kulusid. Maisisilo ja rohusilo koos kasutades eelnevalt kirjeldatud probleem nii teravalt esile ei kerki. Maisisilo väiksem proteiinisaldus ja negatiivne vatsa proteiinibilans tasandavad rohusilos oleva liigse lõhustuva proteiini.

Tabel 14. Aminohapete tarbe katmine erineva rohusööda toorproteiini sisalduse ja maisisilo kasutamise korral robotlüksifarmides, kus jõusööda selvekünasid ei kasutata, arvestusega, et piima valgusisalduse on 3,4%.

| Asendamatud aminohapped | Rohusilo 13% PR* | | Rohusilo 13% PR + maisisilo | | Rohusilo 17% PR | | Rohusilo 17% PR + maisisilo | |
|--|------------------|-------|-----------------------------|-------|-----------------|-------------|-----------------------------|-------|
| | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 |
| Piim, kg/päevas | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 |
| Vajadus piimatootmiseks ja elatuseks, g | | | | | | | | |
| Fenüülalaniin | 62 | 77 | 62 | 77 | 62 | 77 | 62 | 77 |
| Histidiin | 44 | 55 | 44 | 55 | 44 | 55 | 44 | 55 |
| Isoleutsiin | 77 | 94 | 77 | 94 | 77 | 94 | 77 | 94 |
| Leutsiin | 130 | 163 | 130 | 163 | 130 | 163 | 130 | 163 |
| Lüsiin | 115 | 144 | 115 | 144 | 115 | 144 | 115 | 144 |
| Metioniin | 30 | 38 | 30 | 38 | 30 | 38 | 30 | 38 |
| Treoniin | 78 | 96 | 78 | 96 | 78 | 96 | 78 | 96 |
| Trüptofaan | 15 | 19 | 15 | 19 | 15 | 19 | 15 | 19 |
| Valiin | 73 | 90 | 73 | 90 | 73 | 90 | 73 | 90 |
| Kaetakse mikroobse päritolu AH-ga, % tarbest | | | | | | | | |
| Fenüülalaniin | 141,4 | 122,5 | 130,9 | 116,0 | 135,8 | 125,0 | 138,3 | 127,3 |
| Histidiin | 71,8 | 62,4 | 69,4 | 61,9 | 72,0 | 66,7 | 70,3 | 64,9 |
| Isoleutsiin | 140,9 | 124,2 | 131,4 | 118,5 | 136,4 | 127,8 | 137,9 | 129,1 |
| Leutsiin | 95,8 | 82,5 | 88,7 | 78,0 | 92,0 | 84,1 | 93,7 | 85,7 |
| Lüsiin | 112,8 | 97,3 | 104,9 | 92,6 | 108,9 | 99,8 | 110,3 | 101,1 |
| Metioniin | 116,8 | 98,7 | 108,3 | 93,5 | 112,3 | 100,8 | 114,2 | 102,6 |
| Treoniin | 113,6 | 99,3 | 104,7 | 93,5 | 108,6 | 100,8 | 111,1 | 103,1 |
| Trüptofaan | 108,4 | 96,3 | 100,8 | 91,5 | 104,5 | 98,7 | 106,0 | 100,1 |
| Valiin | 151,8 | 132,6 | 143,9 | 128,7 | 149,3 | 138,8 | 148,6 | 137,9 |
| Kaetakse vatsast mööduva sööda AH-ga, % tarbest | | | | | | | | |
| Fenüülalaniin | 53,7 | 48,1 | 58,7 | 52,8 | 41,4 | 40,0 | 47,6 | 44,7 |
| Histidiin | 41,7 | 37,9 | 46,6 | 42,1 | 29,9 | 29,6 | 38,3 | 36,2 |
| Isoleutsiin | 42,5 | 38,7 | 45,4 | 41,4 | 30,1 | 29,8 | 36,1 | 34,5 |
| Leutsiin | 40,4 | 35,8 | 45,1 | 39,9 | 29,8 | 28,7 | 37,1 | 34,4 |
| Lüsiin | 34,2 | 30,8 | 36,8 | 32,9 | 25,0 | 24,4 | 30,1 | 28,2 |
| Metioniin | 59,6 | 52,7 | 58,6 | 50,5 | 39,5 | 38,3 | 53,3 | 49,1 |
| Treoniin | 39,3 | 35,5 | 40,1 | 36,0 | 29,1 | 28,5 | 34,2 | 32,4 |
| Trüptofaan | 62,5 | 58,1 | 65,4 | 60,8 | 46,0 | 46,3 | 55,6 | 54,0 |
| Valiin | 47,8 | 42,7 | 49,9 | 45,2 | 36,3 | 35,1 | 39,7 | 37,5 |
| Kaetakse mikroobse päritolu ja vatsas mööduva sööda AH-ga, % tarbest | | | | | | | | |
| Fenüülalaniin | 195,1 | 170,6 | 189,6 | 168,7 | 177,2 | 165,0 | 185,9 | 172,0 |
| Histidiin | 113,5 | 100,3 | 116,0 | 104,0 | 102,0 | 96,3 | 108,5 | 101,1 |
| Isoleutsiin | 183,4 | 162,9 | 176,9 | 160,0 | 166,5 | 157,6 | 173,9 | 163,6 |
| Leutsiin | 136,2 | 118,3 | 133,8 | 118,0 | 121,8 | 112,8 | 130,9 | 120,2 |
| Lüsiin | 147,0 | 128,0 | 141,7 | 125,5 | 133,9 | 124,2 | 140,4 | 129,3 |
| Metioniin | 176,4 | 151,4 | 166,9 | 144,1 | 151,8 | 139,2 | 167,6 | 151,6 |
| Treoniin | 152,9 | 134,7 | 144,8 | 129,5 | 137,7 | 129,2 | 145,3 | 135,5 |
| Trüptofaan | 170,9 | 154,4 | 166,2 | 152,3 | 150,5 | 145,0 | 161,6 | 154,1 |
| Valiin | 199,6 | 175,3 | 193,8 | 173,9 | 185,6 | 173,9 | 188,2 | 175,4 |

* PR-proteiin

Tabel 15. Aminohapete tarbe katmine erineva rohusööda toorproteiini sisalduse ja maisisilo kasutamise korral robotlüksifarmides, kus kasutatakse jõusööda selvekünasid, arvestusega, et piima valgusisalduse on 3,4%.

| Asendamatud aminohapped | Rohusilo 13% TP* | | Rohusilo 13% TP + maisisilo | | Rohusilo 17% TP | | Rohusilo 17% TP + maisisilo | |
|--|------------------|-------|-----------------------------|-------|-----------------|-------|-----------------------------|-------|
| | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 | 30 | 40 |
| Vajadus piimatootmiseks ja elatuseks, g | | | | | | | | |
| Fentüülalaniin | 62 | 77 | 62 | 77 | 62 | 77 | 62 | 77 |
| Histidiin | 44 | 55 | 44 | 55 | 44 | 55 | 44 | 55 |
| Isoleutsiin | 77 | 94 | 77 | 94 | 77 | 94 | 77 | 94 |
| Leutsiin | 130 | 163 | 130 | 163 | 130 | 163 | 130 | 163 |
| Lüsiin | 115 | 144 | 115 | 144 | 115 | 144 | 115 | 144 |
| Metioniin | 30 | 38 | 30 | 38 | 30 | 38 | 30 | 38 |
| Treoniin | 78 | 96 | 78 | 96 | 78 | 96 | 78 | 96 |
| Trüptofaan | 15 | 19 | 15 | 19 | 15 | 19 | 15 | 19 |
| Valiin | 73 | 90 | 73 | 90 | 73 | 90 | 73 | 90 |
| Kaetakse mikroobse päritolu AH-ga, % tarbest | | | | | | | | |
| Fentüülalaniin | 135,2 | 119,4 | 135,1 | 122,1 | 135,6 | 119,5 | 140,1 | 124,9 |
| Histidiin | 70,1 | 62,3 | 69,9 | 63,6 | 68,6 | 60,9 | 72,1 | 64,8 |
| Isoleutsiin | 135,2 | 121,6 | 135,1 | 124,3 | 135,1 | 121,1 | 139,9 | 127,0 |
| Leutsiin | 91,6 | 80,4 | 91,6 | 82,2 | 91,9 | 80,4 | 94,9 | 84,1 |
| Lüsiin | 108,1 | 95,1 | 108,0 | 97,2 | 108,1 | 94,8 | 111,9 | 99,4 |
| Metioniin | 111,7 | 96,2 | 111,7 | 98,4 | 112,0 | 96,2 | 115,7 | 100,6 |
| Treoniin | 108,4 | 96,5 | 108,4 | 98,7 | 109,0 | 96,7 | 112,4 | 101,0 |
| Trüptofaan | 103,8 | 94,1 | 103,8 | 96,1 | 103,9 | 93,9 | 107,5 | 98,3 |
| Valiin | 146,7 | 131,0 | 146,6 | 133,7 | 145,3 | 129,3 | 151,4 | 136,6 |
| Kaetakse vatsast mööduva sööda AH-ga, % tarbest | | | | | | | | |
| Fentüülalaniin | 54,0 | 48,9 | 53,6 | 50,7 | 36,5 | 34,7 | 43,9 | 41,2 |
| Histidiin | 41,9 | 38,4 | 41,9 | 40,1 | 26,1 | 25,5 | 34,6 | 32,7 |
| Isoleutsiin | 42,7 | 39,1 | 41,0 | 39,4 | 26,2 | 25,5 | 32,5 | 31,1 |
| Leutsiin | 42,6 | 38,7 | 42,7 | 40,3 | 27,9 | 26,7 | 35,7 | 33,5 |
| Lüsiin | 33,4 | 29,9 | 31,5 | 29,6 | 20,5 | 19,4 | 26,0 | 24,1 |
| Metioniin | 57,5 | 50,3 | 47,3 | 43,6 | 30,1 | 28,3 | 44,4 | 40,1 |
| Treoniin | 38,9 | 35,2 | 34,6 | 32,9 | 24,4 | 23,1 | 30,2 | 28,3 |
| Trüptofaan | 59,4 | 55,1 | 56,8 | 55,4 | 39,7 | 38,8 | 48,1 | 46,0 |
| Valiin | 48,7 | 44,2 | 46,2 | 43,9 | 33,0 | 31,3 | 37,2 | 35,2 |
| Kaetakse mikroobse päritolu ja vatsas mööduva sööda AH-ga, % tarbest | | | | | | | | |
| Fentüülalaniin | 189,2 | 168,3 | 188,7 | 172,8 | 172,2 | 154,2 | 184,0 | 166,1 |
| Histidiin | 112,0 | 100,7 | 111,9 | 103,7 | 94,8 | 86,4 | 106,6 | 97,6 |
| Isoleutsiin | 177,9 | 160,7 | 176,1 | 163,6 | 161,3 | 146,6 | 172,4 | 158,1 |
| Leutsiin | 134,1 | 119,1 | 134,2 | 122,4 | 119,8 | 107,1 | 130,6 | 117,6 |
| Lüsiin | 141,5 | 124,9 | 139,5 | 126,8 | 128,6 | 114,2 | 137,8 | 123,5 |
| Metioniin | 169,1 | 146,5 | 159,0 | 142,0 | 142,1 | 124,5 | 160,1 | 140,7 |
| Treoniin | 147,3 | 131,6 | 143,0 | 131,6 | 133,4 | 119,9 | 142,6 | 129,3 |
| Trüptofaan | 163,2 | 149,2 | 160,6 | 151,5 | 143,6 | 132,7 | 155,6 | 144,4 |
| Valiin | 195,4 | 175,1 | 192,8 | 177,7 | 178,3 | 160,6 | 188,6 | 171,8 |

* PR-proteiin

Kokkuvõte ja järeldused

- Projekti raames juurutati bioloogilistest materjalidest (sööt, piim, veri) aminohapete määramise meetodikad ja kohandati need EMÜ VL söötmise osakonna sööda ja ainevahetuse uurimise laboratooriumi tingimustele.
- Proteiinsöötade kvaliteeti peegeldab söödaproteiini lõhustuvus vatsas, mida väiksem see on seda suurem on sööda metaboliseeruva proteiini sisaldus. Vähem lõhustus kuumpressitud rapsikoogi, päevalillekoogi, sojakoogi ja sojasroti ning rohkem külmpressitud rapsi- ja linakoogi ning oa ja herne proteiin. Söötade inkubatsioonijäägi aminohappeline koostis ei erinenud söötade aminohappelisest koostisest .
- Proteiinsöötade kvaliteeti võib halvendada nende tootmise tehnoloogia, eeskätt termiline töötlemine. Ebaõigete tehnoloogiliste võtete kasutamise tulemuseks on küll vatsas vähelõhustuv, kuid peensooles seedumatu proteiiniga sööt. Lisaks sellele väheneb aminohapete, eeskätt lüsiini seeduvus peensooles. Proteiini kuumakahjustusi saab hinnata ADIP (happekius lahustumatu proteiin) meetodika abil. Kui see ületab 10 %, siis korrigeeritakse proteiinsööda orgaanilise aine seeduvust, metaboliseeruva energia- ja proteiinisaldust ning vatsa proteiinibilanssi. Samuti tuakse välja sööda korrigeeritud proteiinisaldus. Seda on otstarbekas silmas pidada proteiinsöötade sh nii külmpressitud kui ka kuumtöödeldud rapsikoogi ostmisel ja kasutamisel.
- Proteiinsöötade aminohapete seeduvus kogu seedetraktis (vats + peensool) varieerus 91,1-98,8%, väiksem oli see rapsikoogis ja suurim sojasrotis. Arvestades vatsas mittelõhustuvate ja peensooles seeduvate aminohapetega kulub piimatootmiseks vajaminevate aminohapete tarbe katmiseks kõige vähem sojasrotti ja –kooki ning kuumpressitud rapsikooki, samas külmpressitud rapsi- ja linakooki kulub rohkem.
- Võrreldes omavahel kuumpressitud rapsikoogi ja sojasroti mõju piimatoodangule selgus, et kuigi metaboliseeruva proteiini söömus oli suurem sojasrotiga söödetud lehmadel, ei väljendanud see piimajõudluses. Rapsikoogiga söödetud lehmade piimavalgu sisaldus (3,08 % versus 2,97 %) ja toodang (0,978 kg versus 0,937 kg) olid oluliselt ($P < 0,05$) suuremad kui sojasrotiga söödetud lehmadel. Söodaratsiooni aminohapete konversioon toodangu aminohapeteks oli rapsikooki söönud lehmadel oluliselt ($P < 0,005$) suurem kui sojasrotti söönud lehmadel (52,9 % versus 48,1 %). Rapsikooki söönud lehmad kasutasid peensooles imendunud aminohappeid ära efektiivsemalt, mistõttu neid (lämmastikku) eritati vähem keskkonda tagasi.
- Majanduslikult on otstarbekas maksimaalselt ära kasutada ratsioonide tasakaalustamisel rapsikoogis olevat väärtuslikku proteiini ja teha kõik selleks, et seda toota võimalikult odavalt.
- Maisisilo kasutamisel söödaratsioonides, tuleb loomade proteiinitarbe katmiseks lisaks õlikoogile (tavaliselt kuumtöödeldud rapsikoogile) söödaratsiooni lisada mõnda muud proteiinsööta (tavaliselt sojasrotti). Õlikoogi kasutamise kogust söödaratsioonis piirab selle toorrasvasisaldus.
- Osaratsioonilise segasööda proteiinisaldus peaks olema orienteeruvalt 150 g/kg kuivaines. Kui suuretoodanguliste lehmade proteiini- ja energiatarvet on võimalik katta robotist antava jõusöödaga, siis madalama toodanguga lehmad omavad kõrge söödaratsiooni proteiinisalduse korral veel potentsiaali toodangut laktatsiooni lõpuni säilitada, mistõttu nad ei rasvu nii kiiresti.

- Suure proteiinisaldusega rohusilo kasutamise korral jääb piimavalgu sünteesil puudu aminohapest histidiin, sest proteiinsöötade lisamist söödaratsiooni piirab vatsas liialt suur lõhustuva proteiini hulk. Rohusilo optimaalseks proteiinisalduseks tuleb lugeda 14...15 % kuivaines. Suurema rohusilo proteiinisalduse korral tuleks seda kasutada koos siloga, mis sisaldab vähem proteiini, sh maisisilo.

Kasutatud kirjandus

Chen, X.B., Gomes, M.J. 1992. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives – an overview of the technical details. – International Feed Resources Unit. Rowett Research Institute, Bucksburn, Aberdeen, UK. Occasional Publication, 23.

EVS-EN ISO 13904:2005. Animal feeding stuffs – Determination of tryptophan content.

Gallegos-Tintore S., Torres-Fuentes C., Martinez-Ayala A.L., Solorza-Feria J., Alaiz M., Giron-Calleb J. and Vioqueb J. 2011. Antioxidant and chelating activity of *Jatropha curcas* L. protein hydrolysates. – Journal of the Science of Food and Agriculture, 91, 1618–1624.

Huhtanen, P., Hetta, M., Swensson, C., 2011. Evaluation of canola meal as a protein supplement for dairy cows: A review and meta-analysis. – Canadian Journal of Animal Science, 91, 529-543.

Huhtanen, P., Hristov, A. N., 2009. A meta-analysis of the effects of dietary protein concentration and degradability on milk protein yield and milk N efficiency in dairy cows. – Journal of Dairy Science, 92, 3222–3232.

Kärt, O., Karis, V., Ots, M., 2002. Mäletsejaliste proteiinitoitumine ja metaboliseeruv proteiinil põhinev söötade hindamise süsteem. Eesti Põllumajandusülikool, Tartu, 40 lk.

Kohn, R.A., Dinneen, M.M., Russek-Cohen, E., 2005. Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goats, horses, pigs, and rats. – Journal of Animal Science 83, 879–889

Korhonen, M., Vanhatalo, A., Varvikko, T., Huhtanen, P. 2000. Responses to graded postruminal doses of histidine in dairy cows fed grass silage diets. – Journal of Dairy Science 83, 2596–2608.

Korhonen, M., Vanhatalo, A., Huhtanen, P. 2002. Effect of protein source on amino acid supply, milk production, and metabolism of plasma nutrients in dairy cows fed grass silage. – Journal of Dairy Science, 85, 3336-3351.

Larsen, M., Madsen, T.G., Weisbjerg, M.R., Hvelplund, T., Madsen, J. 2001. Small intestinal digestibility and endogenous amino acids in dairy cows – Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 85, 9-21.

Megias, C., Pedroche, J., Yust, M.M., Giron-Calle, J., Alaiz, M., Millian, F., Vioque, J. (2007). Affinity purification of copper chelating peptides from chickpea protein hydrolysates. – Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55, (10), 3949-3954.

NorFor, 2007. The Nordic feed evaluation system. EAAP publication No. 130. Edited by Harald Volden.

NRC = National Research Council 1989. Nutrient requirements of dairy cattle. – 6th revised edition. National Academy Press, Washington, D.C.

NRC = National Research Council 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. – 7th Revised Edition, National Academy of Science, Washington, D.C., 381.

Vanhatalo, A., Huhtanen, P., Toivonen, V., Varvikko, T. 1999. Response of Dairy cows fed grass silage diets to abomasal infusions of histidine alone or in combinations with methionine and lysine. – *Journal of Dairy Science*, 82: 2674–2685.

Yust, M.M., Pedroche, J., Giron-Calle, J., Vioque, J., Milan, F., Alaiz, M. 2004. Determination of tryptophan by high-performance liquid chromatography of alkaline hydrolysates with spectrometric detection. – *Food Chemistry*, 85: 317-320.