



EESTI MAAÜLIKOOL

Veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut

Anne Alliku

**KAITSTUD GLÜKOOSI MÕJU PIIMALEHMADE
ENERGIABILANSILE JA AINEVAHETUSELE
ÜLEMINEKUPERIOODIL**

THE EFFECT OF SUPPLEMENTED PROTECTED GLUCOSE ON
ENERGY BALANCE AND METABOLISM IN TRANSITION
DAIRY COWS

Magistritöö

Loomakasvatuse õppekava

Juhendajad: teadur Priit Karis, *PhD*

vanemteadur Hanno Jaakson, *PhD*

vanemteadur Katri Ling, *PhD*

Tartu 2024

Eesti Maaülikool		Magistritöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Anne Alliku		Õppekava: Loomakasvatus	
Pealkiri: Kaitstud glükoosi mõju piimalehmade energiabilansile ja ainevahetusele üleminekuperioodil			
Lehekülgi: 39	Jooniseid: 7	Tabeleid: 3	Lisasid: 0
Osakond / Õppetool: Söötmisteaduse õppetool			
ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: :1.6. Põllumajandus; Zootehnika, loomakasvatus, aretustegevus B400, Põllumajandusloomade söötmistehnoloogia ja ainevahetusuuringud B420			
Juhendaja(d): teadur Priit Karis, <i>PhD</i> vanemteadur Hanno Jaakson, <i>PhD</i> vanemteadur Katri Ling, <i>PhD</i>			
Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2024			
Lühikokkuvõte:			
<p>Magistritöös kasutatud materjal koguti projekti „Uudse, tervist toetava täiendsööda välja töötamine uuslõpsiperioodiks maksimaalselt ära kasutades lehmade aretusega saavutatud toodangu võimekust.” raames. Töö eesmärgiks oli uurida kaitstud glükoosi lisasöötamise mõju piimalehmade söömusele, piimatoodangule, ainevahetusele ja energiabilansile üleminekuperioodil. Selleks moodustati juhusliku valiku alusel korduvpoeiginud eesti holsteini tõugu lehmadest kaks rühma: kontroll (n=10) ja katserühm (n=10). Katserühmale söödeti lisaks 200g kaitstud glükoosi päevas. Lehmad toodi katselauta nädal enne ja viidi tagasi kolm nädalat pärast poegimist. Kinnisperioodil koguti kindlaks määratud proovipäevadel sööda- ja vereproovid, laktatsiooniperioodil lisandusid piimaproovid (alates 4. laktatsioonipäevast). Katseloomade söödad analüüsiti ja nende söömus registreeriti igapäevaselt. Piimaproovidest määrati valgu, rasva ja laktoosi sisaldus, vereproovidest esteridumata rasvhapete, β-hüdroksübutüraadi ja glükoosi kontsentratsioon.</p>			

Tulemused näitasid, et kaitstud glükoosi täiendav söötmine suurendas katseperioodil lehmade piimatoodangut. Kuigi katserühma loomade kehavarude kasutamine oli intensiivsem (energiabilanss negatiivsem ja esterduumata rasvahapete kontsentratsioon veres suurem), siis ei toonud see kaasa suuremat ketoosi haigestumise ohtu.

Võtmesõnad: söömus, toodang, vere metaboliidid, eesti holstein

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Anne Alliku		Curriculum: Animal Husbandry	
Title: The effect of supplemented protected glucose on energy balance and metabolism in transition dairy cows			
Pages: 39	Figures: 7	Tables: 3	Appendixes: 0
Department / Chair: Chair of Animal Nutrition Field of research and (CERC S) code: 1.6. Agricultural Sciences; Zootechny, animal husbandry, breeding B400, Nutrition B420 Supervisors: Priit Karis, <i>PhD</i> ; Hanno Jaakson, <i>PhD</i> ; Katri Ling, <i>PhD</i> Place and date: Tartu 2024			
Abstract: <p>The materials used in the Master's thesis were collected in the framework of the project "Development of a novel and health-enhancing complementary feed that improves the production of transit dairy cows". The aim of the study was to investigate the effect of supplementary feeding of protected glucose on the feed intake, milk production, metabolism and energy balance of transition dairy cows. For this purpose, two groups were randomly formed of multiparous Estonian Holstein cows: control group (n=10) and test group (n=10). The test group was fed an additional 200 g of protected glucose per day. Cows were brought to the cowshed used for the testing one week before and returned three weeks after calving. During the dry period, feed and blood samples were collected on the pre-determined sampling days, while milk samples were additionally collected during the lactation period (from day 4 of lactation). Feeds for the animals in the study were analysed and the cows' feed intake was recorded daily. Milk samples were analysed for protein, fat and lactose contents; blood samples were analysed for concentrations of non-esterified fatty acids (NEFA), β-hydroxybutyrate (BHB) and glucose.</p> <p>The results showed that feeding supplementary protected glucose to cows increased milk production during the test period. Although the animals in the test group used their body</p>			

reserves more intensively (they had a more negative energy balance and a higher concentration of NEFA in the blood), this did not lead to a higher risk of ketosis.

Keywords: feed intake, milk production, blood metabolites, estonian holstein

SISUKORD

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	9
1.1. Üleminekuperiood.....	9
1.2. Energiabilanss ja kehavarude kasutamine.....	10
1.3. Insuliin.....	11
1.4. Glükoos ja selle kaitsmine.....	12
2. MATERJAL JA METOODIKA	14
2.1. Katse üldisloomustus.....	14
2.2. Katseloomade söötmine	15
2.3. Söödaproovide kogumine ja analüüsimine.....	17
2.4. Piimaproovide kogumine ja analüüsimine	17
2.5. Energiabilansi arvutamine.....	18
2.6. Vereproovide võtmine ja analüüsimine	19
2.7. Statistiline analüüs	20
3. TULEMUSED.....	22
3.1. Kuivaine söömus.....	22
3.2. Piimatoodang.....	23
3.3. Energiabilanss	25
3.4. Glükoos	26
3.5. Esterdumata rasvhapped (NEFA).....	27
3.6. β -hüdrosübutüraat (BHB).....	28
4. ARUTELU	30
KOKKUVÕTE.....	34
KASUTATUD KIRJANDUS	35

SISSEJUHATUS

Piimatootmine on Eestis väga oluline põllumajandussektor ja aastase piimatoodanguga lüpsilehma kohta oleme Euroopas esimesel kohal. Eesti Põllumajandusloomade Jõudluskontrolli (EPJ 2024) andmetel oli aastal 2023 keskmine piimatoodang eesti holsteini tõul 11 394 kg, samas aastal 2020 oli see 10 677 kg lehma kohta aastas ehk 717 kg võrra vähem. Karjad lähevad järjest suuremaks ning tekivad probleemid karjahaldusega, sest loomadega ei jõuta individuaalselt tegeleda. Kõige rohkem tähelepanu vajavad lehmad ajavahemikus umbes kolm nädalat enne kuni kolm nädalat pärast poegimist, seda perioodi nimetatakse üleminekuperioodiks. Poegimisega kaasneb söömuse langus ning lehmadel kulub toodangu moodustamiseks rohkem energiat kui söödaga saadakse.

Seetõttu on see aeg lüpsilehmade üks tähtsamaid poegimisvahemiku osasid, millest olulisel määral sõltub karjas püsimine, tiinestuvus ja laktatsiooni toodang. Üleminekuperioodiga kaasneb immuunsüsteemi nõrgenemine ja organism muutub erinevatele haigustele vastuvõtlikumaks. Probleemide ennetamiseks otsitakse erinevaid lahendusi lisandite näol, mis peaks aitama üleminekuperioodiga paremini kohaneda, nagu näiteks monesiin, koliin, ja kaitstud glükoos.

Kaitstud glükoosi mõju on maailmas vähe uuritud ja käesolev magistritöö on esimene sellel teemal tehtud uuring Eestis.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli uurida kaitstud glükoosi mõju piimalehmade söömusele, toodangule, ainevahetusele ja energiabilansile üleminekuperioodil. Eesmärgi täitmiseks püstitati hüpotees, mille kohaselt kaitstud glükoosi söötmine toetab lüpsilehma poegimisjärgse ainevahetuse kohanemist kõrge piimatoodanguga.

TÄNUAVALDUS

Soovin südamest tänada oma lõputöö juhendajaid Priit Karist, Hanno Jaaksonit ja Katri Lingi hindamatu abi eest lõputöö koostamisel ja vormistamisel. Samuti soovin tänada Märja katsefarmi kollektiivi ning katsetehnikuid, kelle abiga saime katse läbi viia. Lisaks Maaülikooli söötmisteaduste õppetooli laborit söötade analüüsimise eest.

Suur tänu ka Anu Ait OÜ-le, kelle projekti raames sain magistritöö jaoks vajalikke andmeid koguda.

Lõpetuseks soovin tänada oma perekonda ja lähedasi, kes on selle kahe aasta jooksul mulle igati toeks olnud.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1. Üleminekuperiood

Lüpsilehmade kõige kriitilisemat perioodi, mis hõlmab kolme nädalat enne poegimist kuni kolme nädalat pärast poegimist, nimetatakse üleminekuperioodiks. Antud periood on väga oluline nii looma heaolu, tervise kui ka majandusliku kasumlikkuse seisukohalt. Peamiseks probleemiks sel ajal on poegimiseks valmistuvas organismis toimuvad füsioloogilised muutused ning kuivaine söömuse vähenemine, mistõttu ei pruugi organism saada piisavalt energiat loote kasvuks ega piimasünteesiks. Eelkõige mõjutavad probleemid just suuretoodangulisi lüpsilehmi.

Uuringute kohaselt on leitud, et loote kiire kasvu tõttu võib tiinuse viimastel nädalatel piimaveiste energiatarve suureneva lootetarve tõttu olla 75% suurem elatustarbest (Herdt 2000). Nädal enne poegimist väheneb söömus 30% võrra (Wang jt 2020). Toitefaktorite suurem tarve poegimisjärgselt põhjustab energia puudujäägi – glükoosi tarve kasvab keskmiselt kolmekordseks, aminohapete tarve kahekordseks, rasvhapete tarve viiekordseks ja kaltsiumi tarve neljakordseks (Overton, Waldron 2004).

Pärast poegimist nõrgeneb immuunsüsteem (Barletta jt 2017) ja loom muutub haigustele vastuvõtlikumaks. Sel perioodil suureneb ainevahetushaiguste (ketoos, rasvunud maks, poegimishalvatus) ja nakkushaiguste avaldumus (mastiit, metriit) (McCarthy jt 2020). Lisaks võib esineda libediku paigalt nihkumine ja päramiste peetus (Leblanc jt 2006). On leitud, et laktatsiooni alguses haigestub kolmandik karjast kliinilistesse haigustesse ja pooltel esineb vähemalt üks subkliiniline haigusjuhtum (Caixeta, Omontese 2021). Subkliinilise ketoosi esinemissagedus poegimisjärgsetel nädalatel on keskmiselt 22 % (Suthar jt 2013).

Üleminekuperioodi mõjutavad paljud tegurid. Üheks selliseks on lehmade kehavarude hulk. Ülemäärases toitumuses lüpsilehmadel on rohkem ladestunud keharasva, mistõttu toimub rasvade mobiliseerimine neil optimaalses toitumuses lüpsilehmadega võrreldes intensiivsemalt

(Pascottini jt 2020). Kinnisperioodil tuleb vältida loomade ülesöötmist, et tagada optimaalne toitumus poegimisel ja piisav kuivaine söömus poegimisjärgselt (Karis jt 2021).

1.2. Energiabilanss ja kehavarude kasutamine

Energiabilanss kirjeldab söödaga saadud energia ja looma energiatarbe vahet. Positiivse energiabilansi korral on söödaga saadud energia selle tarbest suurem ja suureneb lehma kehavarude hulk. Negatiivse energiabilansi korral peab lehm katma puudujääva energia kehavarude kasutamise arvelt. Energiadefitsiidi katmiseks kasutatakse peamiselt rasvkoes talletatud triglütseriide, nende kasutamise ja talletamise vahekorda reguleerib pankrease poolt toodetud hormoon insuliin. (Jaakson jt 2019; Karis jt 2020).

Negatiivse energiabilansi põhjustab olukord, kus elatusele, tiinusele või toodangu moodustamiseks kuluv energia on suurem söödaga saadud energiast (Barletta jt 2017). Negatiivne energiabilanss kestab keskmiselt 21 päeva (Herdt 2000) ja on suurel määral seotud looma poegimisaegse toitumusega, kuivaine söömusega ning sööda kvaliteediga (Mekuriaw 2023). Lisaks mõjutavad geneetilised ja keskkonnaga seotud tegurid (temperatuur, niiskus, pidamine, kuumastress) kui ka vajalike toiteainete olemasolu ratsioonis (Triwutanon, Rukkwamsuk 2021).

Rasvarakkudes vabanevad lipolüüsi käigus triglütseriididest lipaasi toimel rasvhapped, mis läbivad rasvarakkude membraani ja liiguvad rakust välja vereringesse, kus neid nimetatakse esteridumata rasvhapeteks (NEFA). Veres transportitakse NEFA-sid seostatuna albumiiniga (Zilmer jt 2006). Lipolüüsi käigus moodustub ühest triglütseriidi molekulist üks glütserooli ning kolm rasvhappe molekuli. Antud protsessi reguleerivad hormoonid, näiteks: katehhoolamiinid ja insuliin. Rasvhapetesse talletatud energia vabastatakse b-oksüdatsioonil ja tsitraaditsükli koostöös hingamisahelaga (Zilmer jt 2006).

NEFA mittetäielik oksüdatsioon maksas põhjustab rasvhapete metabolismi vaheproduktidena ketokehade tootmist, vabanenud ketokehi saab kasutada perifeersetes kudedes

energiasubstraatidena. (Metabolic ... 2013) Peamised loomorganismis ringlevad ketokehad on β -hüdroksübutüraat (BHB), atsetoatsetaat ja atsetoon (Serrenho jt 2022).

Kui insuliini sünteesi aktiivsus on madal või esineb häireid signaalülekanedes, on tagajärjeks intensiivne lipolüüs rasvkoos, mis võib põhjustada lipotoksilisust kõrge NEFA kontsentratsiooni tõttu vereplasmas. Antud vere metaboliitide kõrge sisaldus vähendab immunnakkude aktiivsust – organism nõrgeneb ning muutub haigustele vastuvõtlikumaks. (Karis 2021) NEFA kontsentratsioon veres iseloomustab rasvkoos talletatud rasva kasutamise intensiivsust. BHB kontsentratsioon näitab aga maksas toimunud NEFAde oksüdeerumise efektiivsust, sest rasvhapete mittetäielikul oksüdatsioonil tekivad ketokehad (Mekuriaw 2023).

NEFA kontsentratsioon on kõrge poegimise ajal ja vahetult pärast poegimist ning seejärel väheneb kiiresti (Grummer 1995). On leitud, et lüpsilehmad, kellel oli toitumushinne poegimise ajal üle 3.5 palli on veres ringleva NEFA sisaldus pärast poegimist suurem kui optimaalses toitumuses loomadel (Jaakson jt 2018; Karis 2021). Kirjanduse andmetel on madalam NEFA ja BHB kontsentratsioon üleminekuperioodil positiivse mõjuga, sest vähenevad terviseprobleemid poegimisel, reproduktsioonitsüklil taastub kiiremini ja paraneb viljakus (Barletta jt 2017).

Kehavarude kasutamise intensiivsuse ja negatiivse energiabilansi perioodi hindamiseks tuleb teha vereproov ja määrata vere metaboliitide – esterduumata rasvhapete ja β -hüdroksüvõihape kontsentratsiooni vereplasmas. Liigsel rasvavarude kasutamise korral suureneb NEFA kontsentratsioon veres, samas kui glükoosi kontsentratsioon veres langeb (Benedet jt 2019). Kõrge BHB kontsentratsioon viitab sellele, et loom on haigestunud ketoosi. BHB kontsentratsioon $\geq 1,2$ mmol/l viitab subkliinilisele ehk varjatud ketoosile, kuid sisaldus ≥ 3 mmol/l kliinilisele haigusvormile (Kaufman jt 2018).

1.3. Insuliin

Glükoosi ainevahetuses on tähtis roll insuliinil. Insuliin on peptiidhormoon, mida sünteesitakse pankrease *Langerhansi* saarte beeta-rakkudes (Wilcox 2005). Insuliin mõjutab üleminekuperioodil paljusid protsesse: glükoosi liikumist verest lihas- ja rasvkoosse,

lipogeneesi ja lipolüüsi rasvkoes, glükogeneesi maksas kui ka valkude metabolismi lihaskoes. Lipogenees toimub adipotsüütides kahel viisil: *de novo* sünteesina ja eelevalt moodustunud NEFA-de omastamisena vereringest. (Metabolic.. 2013) Kui insuliini süntees või toime on langenud (insuliini resistentsuse tagajärjel), tekivad häired insuliini vahendatud glükoosi omastamisel (Joost 2015).

Insuliini sekretsiooni stimuleerivad kortisool, östrogeenid, somatotropiin, sekretiin ja vereplasma aminohapete, näiteks arginiini taseme tõus, siiski on põhiregulaatoriks vere glükoosisisaldus (Zilmer jt 2006). Insuliini taseme langus enne poegimist on põhjustatud homoöreetilistest regulatsioonidest, mille käigus suunatakse toitained (sh glükoos) kudedesse, mis sõltuvad vähem insuliini toimest, näiteks piimanäärmesse ja platsentasse (Weber jt 2016).

1.4. Glükoos ja selle kaitsmine

Glükoos on monosahariid, mida säilitatakse maksas glükogeenina. Glükoosi vajadus võib suureneda tiinusperioodi lõpus kaks kuni viis korda (Triwutanon, Rukkamsuk 2021). Glükoos on keskne metabolismi võtmeühend, mida eelistatult kasutavad energiana näiteks loode ja immuunrakud. Lisaks vajavad lüpsilehmad glükoosi, sest see on udaras laktoosi sünteesi peamine lähteaine ja sellest sõltub sünteesitava piima kogus. Ühe kilogrammi piima tootmiseks vajab lehma organism 72 grammi glükoosi (Abbas jt 2020).

Söödast saadud süsivesikud sh glükoos muundatakse vatsa mikroorganismide poolt lenduvateks rasvhapeteks, millest lehm peab glükoosi tarbe katmiseks maksas uuesti glükoosi sünteesima (Wang jt 2020). Põhilised lenduvad rasvhapped on äädikhape, propioonhape ja võihape, kuid vaid propioonhapest on võimalik läbi glükoneogeneesi glükoosi sünteesida.

Maksal on oluline roll veresuhkru taseme säilitamisel, sest selles on talletatud glükoosi tagavara (glükogeenina). Lisaks suudab maks glükoosi sünteesida ehk toimub glükoneogenees. Ligikaudu 90% glükoneogeneesist toimub maksas, neerudes aga 10 % (Kärt 2011). Glükoneogeneesiks nimetatakse protsessi, kus glükoosi süntees toimub mitterahhariidsetest ühenditest (propionaat, püruvaat, glütserool) (Zilmer jt 2006). Glükoneogenees on vajalik glükoosi homöostaasi säilitamiseks, seda reguleerivad mitmed hormoonid, näiteks insuliin,

glükagoon ja kasvuhormoon (Aschenbach jt 2010). Täiskasvanud mäletsejad katavad glükoneogeneesi protsessiga 90% ning vastündinud 75% kogu glükoosi tarbest (Reynolds 2005).

Vatsas elavad (anaeroobsed) bakterid, algloomad ja seened, kuid kogu mikrobiotast moodustavad 91% bakterid, mis toodavad söödas saadud süsivesikutest lenduvaid rasvhappeid (Wang jt 2020). Väga suur osa söödas olevast glükoosist on tärklises. Kuivõrd tärklis on vatsas kiiresti lõhustuv, siis jõuab peensoolde minimaalne kogus söödas algselt olnud glükoosist (McCarthy jt 2020). Piima sünteesiks vajamineva glükoosi kogus on suur, mistõttu võib tekkida selle puudus teistes kudedes. Kaitstud glükoosi eesmärgiks on muuta selles olev glükoos vatsabakteritele kättesaamatuks ja seeläbi tagada suurema koguse glükoosi jõudmine peensoolde (Sauls-Hiesterman jt 2020).

Kaitstud glükoosi abil on võimalik leevendada negatiivse energiabilansiga kaasnevaid riske. On leitud, et kaitstud glükoosi söötmine parandas piimatoodangut ja suurendas ka immunfunktsiooni laktatsiooni alguses (Wang jt 2020).

2. MATERJAL JA METOODIKA

Magistritöö jaoks kasutatud materjal saadi Põllumajanduse Registrate ja Informatsiooni Ameti (PRIA) Maaelu arengukava (MAK) meetme 16.2 projekti „Uudse, tervist toetava täiendsööda välja töötamine uuslüksiperioodiks maksimaalselt ära kasutades lehmade aretusega saavutatud toodangu võimekust.” raames.

2.1. Katse üldiseloostus

Söötmiskatse viidi läbi Eesti Maaülikooli katsefarmis (Eerika Farm OÜ) ajavahemikul 2022 aasta märts kuni 2023 märts. Eerika Farm OÜ on 130 lüpsilehmaga vabapidamislaut, kus on kasutusel kaks erinevat lüpsisüsteemi (robot- ja platsilüps). Aastal 2022 oli loomade keskmine toodang 9700 kg.

Katsesse valiti poegimise ajalises järjestuses 20 multipaarset ehk korduvpoeginud eesti holsteini (EHF) tõugu lehma. Katsesse toomise ajal jagati katseloomad juhuslikult kahte rühma – kontrollrühm (n=10) ja katserühm (n=10; said kaitstud glükoosi 200g päevas, GluNergy, Proficio/Centurion, Austria). Katseloomad toodi lõaspidamise süsteemiga katselauta nädal enne eeldatavat poegimist ning viidi kolm nädalat peale poegimist tagasi vabapidamislautu.

Katseloomade keskmine laktatsioonide arv kontrollrühmal oli $2,6 \pm 0,66$ (keskmine \pm standardhälve) ja katserühmal $2,6 \pm 0,91$ ning keskmine suhteline aretusväärtus (SPAV) vastavalt $105 \pm 7,12$ ja $107 \pm 6,58$.

Katseloomad kaaluti katseperioodi alguses ja lõpus. Proovide kogumine toimus kaks korda nädalas, esmaspäeval ja neljapäeval (edaspidi proovipäevad). Katseandmete kogumisel ja katse läbiviimisel oli magistritöö autor üks kahest katsetehnikust.

2.2. Katseloomade söötmine

Lehmi söödeti individuaalselt kaks korda päevas kell 6:00 ja 15:00, sealhulgas registreeriti loomade söömused. Kasutatud söödad ja nende keemiline koostis on esitatud tabelis 1 ja söödaratsioon tabelis 2. Jõusööda kogust korrigeeriti lüpsiperioodil vastavalt koresööda toitefaktorite sisaldusele, et tagada ratsioonile vastavad metaboliseeruva energia ja metaboliseeruva proteiini kontsentratsioonid kuivaines.

Tabel 1. Katses kasutatud söödad ja nende keemiline koostis (keskväärtus ± standarhälve)

Näitaja	Söödad				
	Silo	Hein	Oder	Mais	Raps
Kuivaine, g/kg	350 ± 67,9	825 ± 39,4	881 ± 5,04	870 ± 1,79	883 ± 5,44
Toorproteiin, g/kg KA	133 ± 25,9	78,6 ± 19,7	118 ± 6,09	87,2 ± 7,40	356 ± 17,1
Toortuhk, g/kg KA	85,4 ± 12,8	66,0 ± 9,68	21,2 ± 1,17	13,8 ± 1,58	70,3 ± 1,89
Toorkiud, g/kg KA	278 ± 29,7	338 ± 27,6	56 ± 8,46	27,6 ± 5,89	125 ± 7,04
Toorrasv, g/kg KA	2,46 ± 3,84	19,1 ± 4,05	20,6 ± 1,96	43,4 ± 3,34	112 ± 4,19
N- ta ea*, g/kg KA	468 ± 38,4	498 ± 30,3	784 ± 5,27	828 ± 15,0	338 ± 21,8
Kaltsium, g/kg KA	9,85 ± 3,57	4,94 ± 1,76	0,54 ± 0,29	0,282 ± 0,07	8,52 ± 0,68
Fosfor, g/kg KA	2,82 ± 0,93	2,40 ± 0,16	3,5 ± 0,26	2,84 ± 0,35	11,6 ± 0,79
Metaboliseeruv energia, MJ/kg KA	9,18 ± 0,28	7,86 ± 0,42	13,0 ± 0,00	14,1 ± 0,04	6,66 ± 0,82
Metaboliseeruv proteiin, g/kg KA	74,3 ± 3,91	66,3 ± 3,92	103 ± 1,36	118,8 ± 1,87	63,0 ± 6,16
Vatsa proteiini bilanss, g/kg KA	6,00 ± 20,1	-34,4 ± 14,8	-49,6 ± 3,83	-105 ± 5,07	13,3 ± 0,12

* lämmastikuta ekstraktiivained

Tabel 2. Katserühmade söödaratsioonid kinnis- ja laktatsiooniperioodil

Näitaja	Enne poegimist		Pärast poegimist*	
	Kontroll	Kaitstud glükoos	Kontroll	Kaitstud glükoos
Eeldatav söömus, kg KA	11,8	11,6	20,7	20,5
Söötade osatähtsus, g/kg KA				
Silo	600 ± 50,1	607 ± 50,7	361 ± 59,1	364 ± 59,6
Hein	254 ± 60,2	257 ± 60,9	123 ± 59,2	124 ± 59,7
Oder	46,8 ± 0,46	19,8 ± 0,20	191 ± 7,95	177 ± 8,01
Mais	—	—	126 ± 0,08	127 ± 0,17
Rapsikook	88,5 ± 19,1	89,5 ± 19,4	188 ± 7,90	189 ± 7,97
Kaitstud glükoos	—	15,5 ± 0,15	—	8,78 ± 0,01
Mineraalsööt	11,1 ± 0,11	11,2 ± 0,11	9,68 ± 0,01	9,75 ± 0,01
Toitefaktorite sisaldus, kg KA				
Toorproteiin, g	127 ± 4,90	127 ± 4,90	155 ± 3,17	154 ± 3,22
Tärklis ja suhkrud, g	54,8 ± 3,00	54,8 ± 3,00	241 ± 5,12	237 ± 5,16
Metaboliseeruv proteiin, g	77,3 ± 0,74	77,3 ± 0,74	95,5 ± 2,32	95,0 ± 2,34
Vatsa proteiini bilanss, g	-0,20 ± 1,43	-0,20 ± 1,43	-0,80 ± 0,97	-0,50 ± 0,98
Metaboliseeruv energia, MJ	9,23 ± 0,13	9,23 ± 0,13	11,0 ± 0,11	11,1 ± 0,11
Toorrasv, g	35,2 ± 4,65	35,2 ± 4,65	44,3 ± 3,38	48,7 ± 3,47
Toorkiud, g	269 ± 15,8	269 ± 15,8	182 ± 9,40	182 ± 9,50
Kalsitum, g	7,35 ± 0,90	7,35 ± 0,90	6,91 ± 0,74	6,91 ± 0,74
Fosfor, g	3,98 ± 0,55	3,98 ± 0,55	4,70 ± 0,43	4,70 ± 0,43

*kontsentratsioonid kehtivad alates 16. laktatsioonipäevast

Loomade söötmist alustati koresööda jääkide kaalumise, seejärel kaaluti uue söötmiskorra mineraalsööt ja katserühmale täiendavalt kaitstud glükoos, mis segati jõusöödaga ning pandi söödakünasse. Antud segu hoiti loomadel tund aega ees, jäägid eemaldati ja kaaluti.

Järgmisena kaaluti valmis uus etteantav koresööt ning pandi söödakünasse. Koresööta söödeti *ad libitum*. Kui jääk oli alla 1 kg, siis suurendati etteantavat koresööda kogust 1 kg võrra. Lüpsiperioodil söödeti jõusööta vastavalt laktatsioonipäevade arvule. Esimesel lüpsipäeval söödeti söötmiskordadel 2 kg naturaalkaalus jõusöödasegu, kokku 4 kg päevas, igal järgneval päeval suurenes etteantav jõusöödasegu 0,5 kg võrra. Alates 16. laktatsioonipäevast jõusöödasegu kogust ei suurendatud – hommikul 6 kg ja õhtul 5,5 kg ehk katseloomad said päevas 11,5 kg jõusöödasegu.

2.3. Söödaproovide kogumine ja analüüsimine

Ratsioonid koostati söödaproovide keemilise analüüsi tulemuste põhjal. Keemilise koostise ja toiteväärtuse hindamiseks võeti siloproov üks kord kuus ning jõusöödaproov igast partiist. Proovipäevadel võeti koresöödast keskmine söödaproov kuivaine määramiseks. Koresööda proov suleti õhukindlasse kotti ja hoiustati +4 kraadi juures, kuni proovi analüüsimiseni (max 24h jooksul).

Söödaproovide analüüsid tehti Eesti Maaülikooli veterinaarmeditsiini- ja loomakasvatuse instituudi söötmisteaduse õppetooli sööda ja ainevahetuse uurimise laboris Rahvusvahelise analüütilise keemia assotsiatsiooni (AOAC 2023) ametlike meetodite kohaselt.

2.4. Piimaproovide kogumine ja analüüsimine

Individuaalseid piimaproove hakati koguma alates neljandast laktatsioonipäevast, kaks korda nädalas proovipäevadel. Hommikusel ja õhtusel lüpsil võeti proovid (50 ml) ning registreeriti loomade piimatoodangud. Piimaproovidele lisati säilitusaine bronopol, seejärel proovid jahutati ning säilitati temperatuuril +4°C kuni analüüsimiseni. Piima rasva-, valgu- ja laktoosisisaldused

määrati nii õhtuse kui ka hommikuse lüpsi piimaproovidest. Võttes arvesse hommikust ja õhtust toodangut arvutati päeva keskmised rasva-, valgu ja laktoosisisaldused. Piimaproove analüüsiti Eesti Põllumajandusloomade Jõudluskontrolli AS laboris.

Energia järgi korrigeeritud piima (EKM) toodang arvutati vastavalt Sjaunja (1990) poolt esitatud valemile (2.1):

$$EKM \text{ toodang (kg)} = \text{Piima toodang (kg)} \times ((0,383 \times \text{Rasva (\%)} + 0,242 \times \text{Valgu (\%)} + 0,1654 \times \text{Laktoosi (\%)} + 0,207) / 3,140) \quad (2.1)$$

2.5. Energiabilansi arvutamine

Energiabilansi arvutamisel lähtuti National Academies of Sciences, Engineering and Medicine (NASEM 2021) valemitest. NASEM-i energia ühikuks on megakalor (Mcal), aga Eestis on kasutusel megadžaul (MJ). Teisendusteguriks kasutati valemite puhul arvu 4,184. NASEM valiti energiabilansi arvutamiseks seetõttu, et selle abil oli võimalik hinnata vasika sünnimassi alusel täpsemalt kinnisperioodil kulunud energiat ja tiinustarvet sõltuvalt tiinuspäevast.

Energiabilanss arvutati järgneva valemi abil:

$$EB = E_{söömus} - E_{tarve}, \quad (2.2)$$

kus enne poegimist arvutati:

$$E_{tarve} = E_{elatustarve} + E_{tiinustarve} \quad (2.3)$$

peale poegimist arvutati:

$$E_{tarve} = E_{elatustarve} + E_{laktatsioonitarve} \quad (2.4)$$

Energia söömus arvutati:

$$E_{söömus} = \text{kuivaine söömus (kg)} \times \text{metaboliseeruva energia sisaldus söödas (MJ/kg)} \quad (2.5)$$

Elatusele kulunud energia leiti:

$$E_{elatus} = kehamass^{0,75} \times 0,15 \times 4,184 \quad (2.6)$$

Laktatsiooniks kulunud energia arvutati:

$$E_{laktatsioon} = (9,29 \times Rasva (\%) / 100 + 5,5 \times Valgu (\%) / 100 + Laktoosi (\%) / 100 \times 3,95) \times Piima toodang (kg) \times 4,184 / 0,66 \quad (2.7)$$

Tiinusele kulunud energia arvutati:

$$E_{tiinus} = emaka massi suurenemine päevas, kg \times (0,882 \times 4,184 / 0,14), \quad (2.8)$$

kus emaka massi suurenemine päevas arvutati:

$$emaka mass (kg) \times (0,0243 - (0,0000245 \times (280 + LP))), \quad (2.9)$$

antud valemis tähistab LP katseloomade lüpsipäevi

Emaka mass arvutati:

$$emaka mass poegimisel (kg) \times e^{-(0,0243 - (0,0000254 \times 279))} \times (280 - (280 + LP)) \quad (2.10)$$

antud valemis tähistab e Euleri arvu (2,71828).

Emaka mass poegimisel arvutati:

$$vasika mass (kg) \times 1,825 \quad (2.11)$$

2.6. Vereproovide võtmine ja analüüsimine

Katseloomadelt võeti vereproovid sabaveenist iga esmaspäeva ja neljapäeva hommikul enne söötmist. Vereproovid võeti Li-hepariiniga steriilsetesse 9 ml vaakumkatsutitesse (Vacutest, Itaalia), 21 g nõelaga (Vacutest). Seejärel hoiustati veri +4°C juures, kuni plasma eraldamiseni. Proovid tsentrifuugiti (4000 pööret/min, 20 min) ja plasma külmutati (-80°C) kuni analüüsamiseni kliinilise keemia analüsaatoriga Randox Monaco (Randox Ltd., Ühendkuningriik).

Vereplasmast määrati NEFA, BHB ja glükoosi kontsentratsioon. Mõlema vere metaboliidi määramiseks kasutati Randox Laboratories Ltd poolt ettenähtud komplekte - NEFA (kat nr FA115), BHB (kat nr RB1007) ning GLC (kat nr GL8318).

2.7. Statistiline analüüs

Andmeid analüüsiti programmis MS Excel, kus tehti dispersioonianalüüs funktsiooniga „Anova: Two-Factor With Replication“, mille tulemusena saadi aja ja rühma mõju ning nende interaktsioon. Kasutades funktsiooni t.test hinnati kontroll- ja katserühma erinevusi erinevatel ajahetkedel. Andmed on esitatud aritmeetilise keskmisena \pm standarhälve.

Üks loom arvati katsest välja põhjusel, et ta söi vähesel määral talle pakutud lisandit. Exceli dispersioonianalüüsi eelduseks on võrdne vaatluste arv rühmades. Selle kriteeriumi täitmiseks täideti puuduolevad andmed vastava ajahetke vastava rühma keskväärtusega. Lisaks grupeeriti lüpsipäevade andmed, et oleks võimalik analüüsida aja ja rühma mõju (tabel 3). Statistilise erinevuse piiriks seati seati p-väärtus $\leq 0,05$.

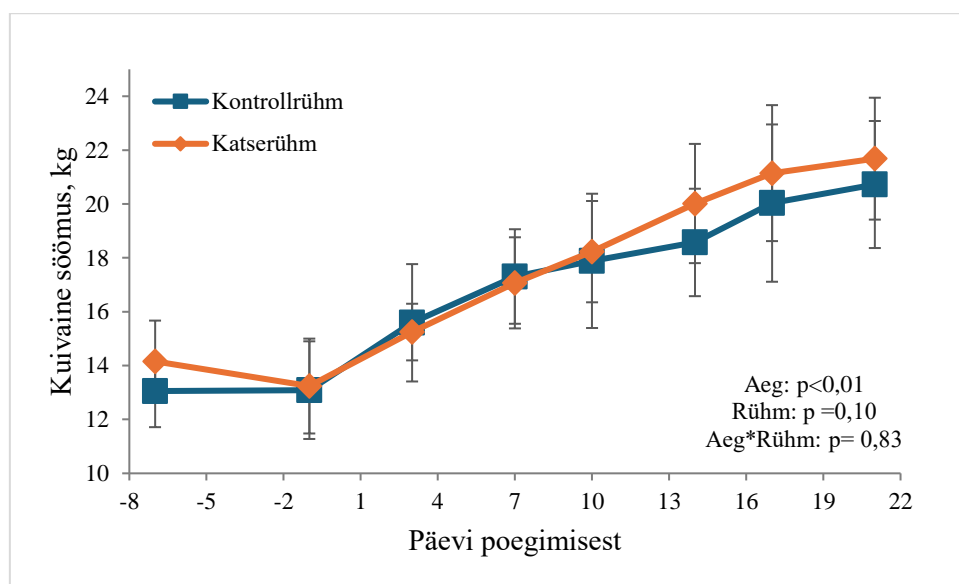
Tabel 3. Lüpsipäevade andmete grupeerimine

Lüpsipäevade vahemik	Keskmistatud lüpsipäevad
-11 kuni -6	-7
-5 kuni -1	-1
1 kuni 3	1
4 kuni 7	7
8 kuni 10	10
11 kuni 14	14
15 kuni 17	17
18 kuni 22	21

3. TULEMUSED

3.1. Kuivaine söömus

Joonisel 1 on kujutatud katserühmade kuivaine söömus enne ja pärast poegimist.

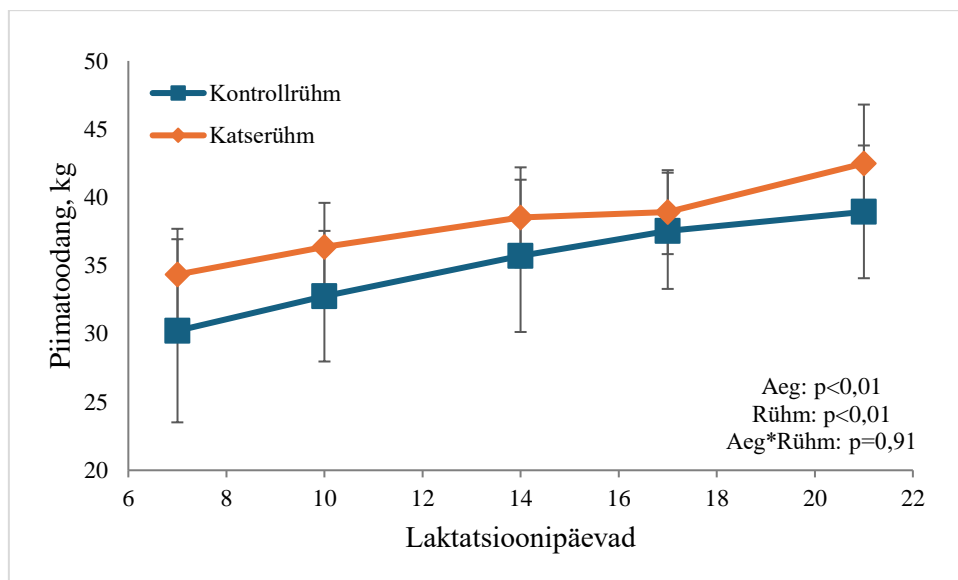


Joonis 1. Kuivaine söömuse muutus kontroll- ja katserühmal katseperioodi jooksul. Rühmade keskmiste standarhälbed on kujutatud joonisel veajoonitena.

Nädal enne poegimist oli keskmine kuivaine söömus kontrollrühmas 13,05 kg ning katserühmas 14,15 kg päevas. Pärast poegimist hakkas söömus mõlemas rühmas tõusma ehk kuivaine söömus sõltus lüpsipäevast ($p < 0,01$). Kontrollrühmas oli 14. laktatsioonipäeval kuivaine söömus 18,60 kg-ni ja katserühmal 20,02 kg-ni päevas. Katseperioodi viimasel ehk 21. laktatsioonipäeval oli söömus tõusnud vastavalt 20,72 kg ja 21,70 kg päevas. Kuigi viimasel nädalal oli katserühmas kuivaine söömus umbes 1 kg suurem kui kontrollrühmas, siis dispersioonianalüüsi kohaselt rühm söömuse ei mõjutanud ($p = 0,10$). Aja ja rühma koosmõju ei täheldatud ($p = 0,83$) ehk söömuse ajaline dünaamika rühmades ei erinenud.

3.2. Piimatoodang

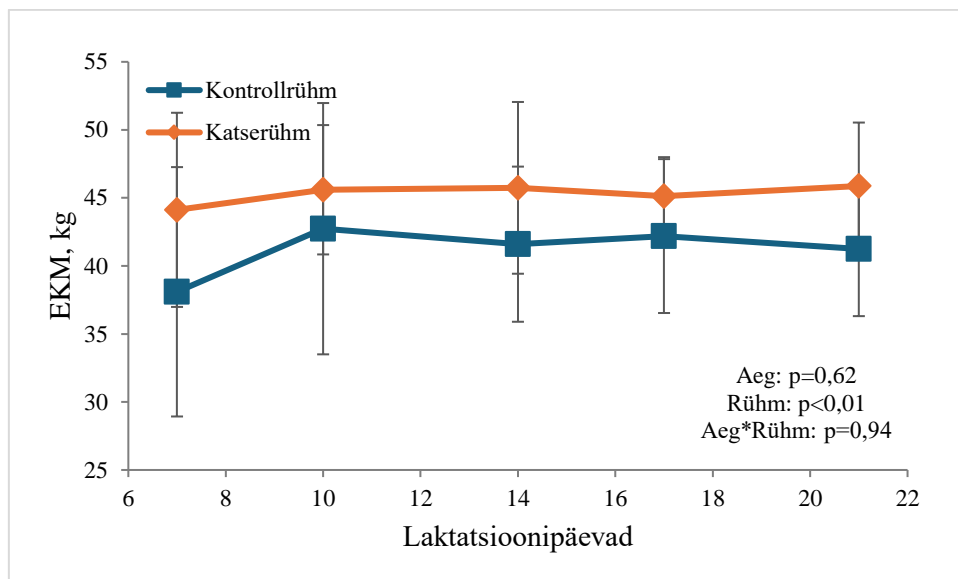
Piimatoodangute omavahel võrdlemiseks arutati mõlemale katserühmale energia järgi korrigeeritud piima ehk EKM kogus, mis iseloomustab sellist piima, mille ühes kilogrammis on energiasisaldus 3,14 MJ. Joonisel 2 on kontroll- ja katserühma keskmised piimatoodangud alates seitsmendast laktatsioonipäevast kuni katseperioodi lõpuni.



Joonis 2. Piimatoodangu muutus kontroll- ja katserühmal katseperioodi jooksul. Rühmade keskmiste standardhälbed on kujutatud joonisel veajoonetena.

Piimatoodang suurenes katseperioodil pidevalt ($p < 0,01$) ja see sõltus söötmissüsteemist ($p < 0,01$). Tervikuna oli katserühma piimatoodang võrreldes kontrollrühmaga kõrgem ($p < 0,01$), näiteks oli 7. laktatsioonipäeval katserühma keskmine piimatoodang 34,34 kg ning kontrollrühmas 30,22 kg päevas. Katseperioodi lõpuks oli katserühmade keskmise piimatoodangu vahe 3,5 kg päevas katserühma kasuks.

Joonisel 3 on EKM muutus kontroll- ja katserühmal katseperioodi jooksul.

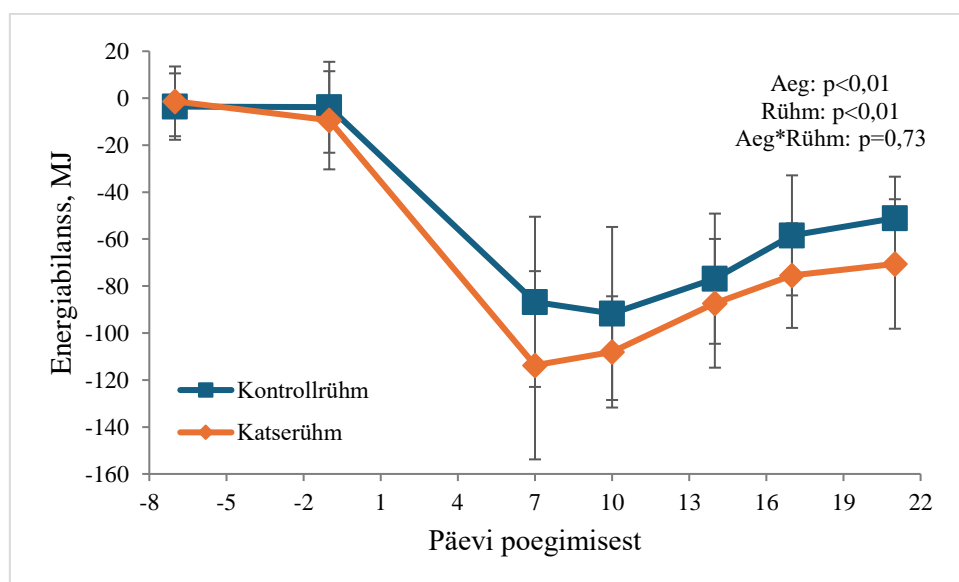


Joonis 3. Energia järgi korrigeeritud piima ehk EKM-i muutus kontroll- ja katserühmal katseperioodi jooksul. Rühmade keskmiste standarhälbed on kujutatud joonisel veajoontena.

Sarnaselt piimatoodanguga oli ka EKM piimatoodang kõrgem katserühmas kogu katseperioodi vältel ($p < 0,01$), näiteks oli 7. lüpsipäeval kontrollrühma keskmine EKM 38,10 kg ning katserühmal 44,12 kg päevas. Samas ei sõltunud EKM-toodang ajast ($p = 0,62$). Aja ja rühma koosmõju ei olnud ($p = 0,94$), piimatoodangu ajaline muutus oli rühmades sarnane.

3.3. Energiabilanss

Joonisel 4 on kujutatud energiabilansi muutust katseperioodi jooksul.



Joonis 4. Energiabilansi muutus kontroll- ja katserühmal katseperioodi jooksul. Rühmade keskmiste standarhälbed on kujutatud joonisel veajoonena.

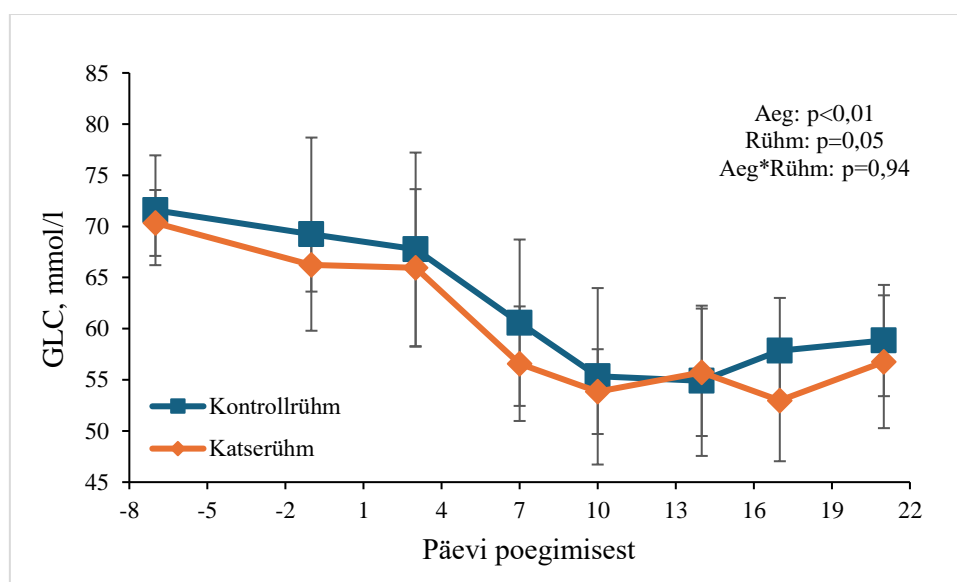
Enne poegimist oli keskmine energiabilanss stabiilne ja energia tarve ning söödaga saadud energia tasakaalus, näiteks nädal enne poegimist oli energiabilanss kontrollrühmas -3,56 MJ ning katserühmas -1,33 MJ. Peale poegimist hakkas energiabilanss aga muutuma ning sõltus lüpsipäevast ($p < 0,01$). Tervikuna mõjutas rühm katseperioodi energiabilanssi ($p < 0,01$), kusjuures katserühma energiabilanss oli madalam.

Mõlema rühma energiabilanss oli kõige madalam kogu katseperioodi vältel 7. lüpsipäeval (kontrollrühmal -86,71 MJ ja katserühmal -133,71 MJ). Sealt edasi hakkas energiabilanss liikuma positiivse bilansi suunas, siiski oli mõlemas rühmas katseperioodi lõpuks energiabilanss negatiivne, kontrollrühmas -51,12 MJ ning katserühmas -70,81 MJ.

Aja ja rühma koosmõju ei täheldatud ($p=0,73$), katseperioodil muutus energiabilanss rühmadel sarnaselt.

3.4. Glükoos

Joonisel 5 on kujutatud glükoosi kontsentratsiooni muutus enne ja pärast poegimist.



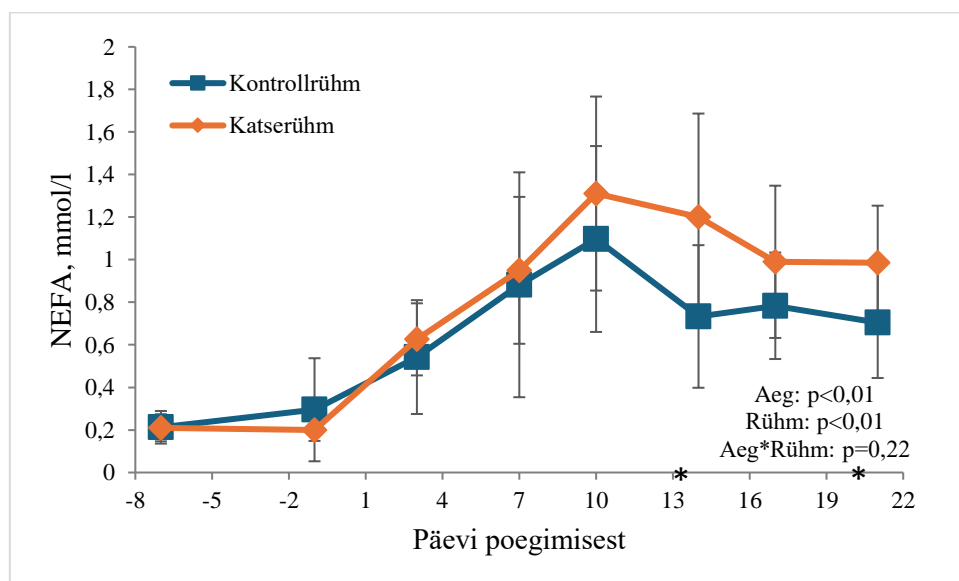
Joonis 5. Glükoosi kontsentratsiooni muutus kontroll- ja katserühmal katseperioodi jooksul. Rühmade keskmiste standarhälbed on kujutatud joonisel veajoontena.

Katseperioodi alguses oli mõlema rühma keskmine glükoosi kontsentratsioon sarnane 70,95 mmol/l. Sealt edasi oli katserühmas glükoosi kontsentratsioon siiski pidevalt madalam ja kokkuvõttes sõltus glükoosi sisaldus katseperioodil söötmisest ($p=0,05$). Glükoosi sisaldus oli 10. lüpsipäevaks vähenenud katserühmal 53,85 mmol/l ning kontrollrühmal 55,34 mmol/l, sealt edasi hakkas sisaldus tõusma, seega sõltus glükoosi kontsentratsioon lüpsipäevast ($p<0,01$).

Tervikuna oli katserühma glükoosi kontsentratsioon võrreldes kontrollrühmaga madalam. Glükoosi kontsentratsiooni muutus katseperioodi jooksul oli katserühmadel sarnane ja kahe faktori koosmõju ei olnud ($p=0,94$).

3.5. Esterdumata rasvhapped (NEFA)

Enne poegimist oli NEFA sisaldus mõlema rühma loomade vereplasmas madal, peale poegimist hakkas kontsentratsioon tõusma. Joonisel 6 on kujutatud NEFA kontsentratsiooni muutus enne ja pärast poegimist.



Joonis 6. Esterdumata rasvhapete (NEFA) kontsentratsiooni muutus kontroll- ja katserühmal katseperioodi jooksul. Rühmade keskmiste standardhälbed on kujutatud joonisel veajoontena. Tähn (*) näitab rühmadevahelist statistiliselt olulist ($p < 0,05$) erinevust konkreetses ajapunktis.

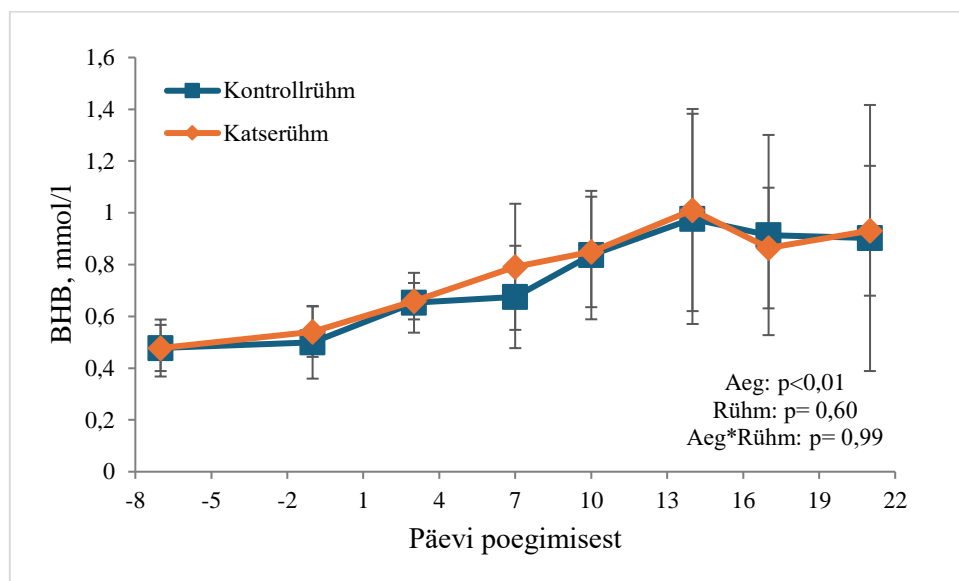
Katseperioodi alguses oli mõlema rühma keskmine NEFA kontsentratsioon alla 0,21 mmol/l. Peale poegimist hakkas NEFA kontsentratsioon tõusma, 10. lüpsipäevaks oli kontrollrühmas sisaldus 1,10 mmol/l ja katserühmas 1,31 mmol/l, seepärast hakkas see mõlemas rühmas langema.

Lüpsipäevadel 14 ja 21 oli katserühmas NEFA kontsentratsioon kõrgem kui kontrollrühmas (vastavalt 1,20 vs 0,73 ja 0,98 vs 0,70; $p < 0,05$). Seda tulemust kinnitab dispersioonianalüüs, mille kohaselt sõltus katseperioodi ulatuses tervikuna NEFA sisaldus söötmissüsteemist ($p < 0,05$).

NEFA dünaamika oli katserühmal katseperioodil sarnane, aja ja rühma koosmõju ei ilmnenu ($p = 0,22$).

3.6. β -hüdroksübutüraat (BHB)

Joonisel 7 on kujutatud BHB kontsentratsiooni muutus vereplasmas katserühmal enne ja pärast poegimist.



Joonis 7. B-hüdroksübutüraadi (BHB) kontsentratsiooni muutus kontroll- ja katserühmal katseperioodi jooksul. Rühmade keskmiste standardhälbed on kujutatud joonisel veajoonetena.

Sarnaselt teiste uuritud biomarkeritega sõltus ka BHB sisaldus lüpsipäevast ($p < 0,01$). Katse alguses ehk nädal enne poegimist oli mõlema katserühma keskmine BHB sisaldus 0,48 mmol/l, seejärel hakkas BHB kontsentratsioon sujuvalt tõusma. Katseperioodi 14. lüpsipäeval oli

keskmine BHB kontsentratsioon vereplasmas kontrollrühmal 0,97 mmol/l ning katserühmal 1,01 mmol/l.

Rühmal puudus mõju ($p=0,60$) BHB sisaldusele. Samuti puudus aja ja rühma koosmõju ($p=0,99$), BHB ajaline muutus oli rühmadel sarnane.

4. ARUTELU

Kuivaine söömust mõjutavad mitmed tegurid, nagu näiteks õhutemperatuur- ja niiskus, söödafrondi pikkus, koresööda kvaliteet, toodang ja laktatsioonijärk. Seoses poegimise lähenemisega väheneb lehamde kuivaine söömus, mida kinnitavad oma uurimustes Grummer jt (2004) ja Janovick jt (2011) ning mille peamiseks põhjuseks on organismis toimuvad füsioloogilised muutused. Lüpsilehmade sööda tarbimine ehk söömus on väga tugevalt seotud piimatoodanguga. Kuna söödakulud moodustavad üle 50% piimatootmise kuludest (Harder jt 2019), siis avaldab see suurt mõju loomakasvatuse majanduslikule edule.

Lisaks mõjutab söömus nii looma heaolu kui ka tervislikku seisundit. Söömuse vähenemisega kaasneb piimatoodangu langus, lisanduda võib looma haigestumine erinevatesse ainevahetushaigustesse. Ka antud töös täheldati organismi füsioloogilistele muutustele vastavat söömuse muutust.

Käesoleva katse tulemustest selgus, et kaitsud glükoosi söötmine ei avaldanud söömusele mõju ja katserühmade söömus ei erinenud teineteisest olulisel määral. Li jt (2019) poolt läbi viidud katses söödeti antud magistritööga sarnaselt kaitsud glükoosi 200 g päevas. Selles tootes on glükoos pakitud rasvakuuli sisse ja toode sisaldab - 450 g/kg glükoosi, 450 g/kg rasva ja 100 g/kg vett). Uurimuse kohaselt ei olnud kaitsud glükoosil lehmade söömusele mõju, siiski tuleb märkida, et Li jt (2019) katses olnud lehmade söömus oli oluliselt väiksem käesoleva magistritöö katses olnud loomade omast. Li et al (2019) uuringus oli lehmade söömus ca 8 kg päevas, samas kui antud magistritöö raames läbiviidud katses oli 7. lüpsipäeval keskmine kuivaine söömus kontrollrühmas 17,30 kg ja katserühmas 17,10 kg päevas. Üheks täiendavaks viisiks kuidas glükoosi muuta vatsabakteritele kättesaamatuks on Maillard'i reaktsiooni kasutamine. Sellist toodet on katsetanud Sauls – Hiesterman jt (2020). Nende katses söödeti lehmadele kaitsud glükoosi kas 1kg, 2 kg või 4 kg päevas. Vaatamata suurele lisatud kaitsud glükoosi kogusele ei leidnud autorid positiivset mõju kuivaine söömusele – keskmine kuivaine söömus oli kontrollrühmas 24,3 kg ja katserühmades (lisatud kaitsud glükoosi kogus 1, 2 ja 4 kg) vastavalt 24,8 kg, 24 kg ning 25,5 kg päevas. Li jt (2019) ja Sauls - Hiesterman jt (2020)

läbi viidud uuringutest selgus, et kaitstud glükoosi lisamine söödale ei mõjutanud kuivaine söömust, mis ühtib käesoleva magistritöö tulemustega.

Li jt (2019; 2021) poolt läbi viidud uuringutes selgus, et kaitstud glükoosi juurde söötmine suurendab piimatoodangut. Nimelt suurendab glükoosi lisamine maksas olevat glükoos-6-fosfaadi taset (Li jt 2021), mis omakorda suurendab maksas glükoneogeneesi, mille tulemusena suureneb piimatoodang. Autorid leidsid, et keskmine päevane piimatoodang suurenes glükoosi lisamisel 2 kg võrra, olles kontrollrühmas 16,9 kg ja katserühmas 18,9 kg. Ka käesolevas katses suurendas glükoosi söötmine tervikuna katseperioodi piimatoodangut – keskmine piimatoodang oli näiteks 7. lüpsipäeval kontrollrühmas 30,22 kg ja katserühmas 34,34 kg päevas. Li jt (2019) katseloomad olid võrreldes magistritöö katseloomadega väiksema piimatoodanguga. Samas Sauls – Hiesterman jt (2020) katseloomade keskmine piimatoodang kontrollrühmas oli 49,9 kg ja kolmes katserühmas (lisatud kaitstud glükoosi kogus 1, 2 ja 4 kg) vastavalt 50,6 kg, 48,9 kg ning 50,5 kg päevas ehk kaitstud glükoosi positiivne mõju puudus.

Energiabilanssi mõjutavad mitmed tegurid, eelkõige söömus ja piimatoodang (Li jt 2019). Moallem ja Sklan (2000) on oma uuringus toonud välja, et loom naaseb positiivsesse energiabilanssi 4-5 nädala jooksul pärast poegimist. Antud magistritöö katseperioodi kestvus peale poegimist oli küll kolm nädalat, kuid siiski on näha et loomade energiabilanss liigub positiivse suunas ja seega saab järeldada, et energiabilanss sõltub lüpsipäevast. Li jt (2019) uuringu käigus selguses, et kaitstud glükoosi söötmine ei leevendanud negatiivset energiabilanssi, autorite arvates võis selle põhjuseks olla insuliini resistentsuste teke.

Käesolevas töös oli katserühma energiabilanss tervikuna madalam kui kontrollrühmal. Poegimiseelselt oli energiabilanss kontrollrühmas nädal enne poegimist -3,56 MJ, 7. laktatsioonipäeval -86,71 MJ, 10. laktatsioonipäeval -91,66 MJ ja katseperioodi lõpuks -51,12 MJ. Katserühmas aga nädal enne poegimist -1,33 MJ, 7. laktatsioonipäeval -113,71 MJ, 10. laktatsioonipäeval -108,04 MJ ning katseperioodi lõpus -70,58 MJ. Siinkohal mängib olulist rolli nii loomade söömus kui ka piimatoodang, käesoleva uuringu katseloomad olid kõrgema söömuse ning piimatoodanguga võrreldes Li jt (2019) katseloomadega.

Iga sünteetitava piima kilogrammi kohta on vaja 72 g glükoosi. Glükoosi sisaldus oli vereplasmas katserühmal läbivalt mõnevõrra madalam võrreldes kontrollrühmaga. Samas kuna

katserühma piimatoodang oli võrreldes kontrollrühmaga suurem, siis ilmselt suunati glükoos katserühma loomadel kontrollrühmaga võrreldes suuremal hulgal udarasse ja kasutati piima sünteesiks. Suurema piimatoodanguga võib seletada ka katserühma enam avaldunud negatiivset energiabilanssi.

Nädal enne poegimist oli mõlemal katserühmal keskmine NEFA kontsentratsioon 0,21 mmol/l. Drackley (2000) on toonud oma uurimistulemustes välja, et positiivse energiabilansi korral on tavapärane NEFA tase enne poegimist 0,20 – 0,30 mmol/l, mis on meie tulemustega sarnane. Pärast poegimist tõuseb NEFA kontsentratsioon vereplasmas intensiivse lipolüüsi tõttu. Väärtused, mis on suuremad kui 0,70 mmol/l viitavad negatiivse energiabilansi tekkele (Drackley 2000). Järgnevalt NEFA kontsentratsioon järk-järgult väheneb

Käesolevas magistritöös oli katserühma NEFA kontsentratsioon 14. ja 21. lüpsipäeval kõrgem võrreldes kontrollrühmaga, kelle väärtused kõikusid 0,70 – 0,73 mmol/l vahel ning mõlemad rühmad olid negatiivses energiabilansis. Katserühma loomadel oli lipolüüs seega intensiivsem, mis tõi endaga kaasa NEFA kontsentratsiooni sisalduse suurenemise vereplasmas. Sarnase tulemuse said ka Li jt (2019) enda poolt läbi viidud katses. Kaitstud glükoos on kaitstud rasvaga, seega iga loom sai päevas 100g rasva lisaks. Kontrollrühm ei saanud lisaks rasva juurde, seega vähemalt osa NEFA-st võis tulla seedekulglast, mitte rasvkoest.

Kui lipolüüs on intensiivne ja NEFA kontsentratsioon muutub veres väga kõrgeks, siis pole maks võimeline suurt NEFA hulka täielikult oksüdeerima. Osaliselt oksüdeeritud NEFA-dest tekivad ketoehad, mille tagajärjel võib tekkida ketoos. NEFA suure kontsentratsiooni korral re-esterdatakse nad maksas tagasi triglütseriidideks ja transporditakse lipoproteiinide koosseisus tagasi vereringesse. Kui NEFA-dest maksas moodustunud triglütseriide hulk on suur, ei suudeta neid piisavalt verre viia ja tekib oht rasvunud maksa tekkele.

Käesolevas töös oli katserühma loomade negatiivne energiabilanss sügavam ja sellele vastavalt tõusis ka NEFA kontsentratsioon katserühmal rohkem. Samas oli BHB kontsentratsioon rühmades sarnane, mille põhjal võib järeldada, et katserühma loomade organism sai NEFA kontsentratsiooni suurenemisega hakkama. NEFA-de oksüdatsioonil toodetud energia läks kudedes kasutusse ja/või neid kasutati piimarasva sünteesil, oht ketoosi haigestuda puudus.

McArt jt (2013) seadsid oma uuringus subkliinilise ketoosi piirväärtuseks 1,20 kuni 2,9 mmol/l, BHB antud piirväärtuste vahemikku sattumise korral peale poegimist registreeriti loom haigena. Käesoleva magistritöö katseloomade keskmised BHB väärtused olid enne poegimist kontrollrühmas 0,49 mmol/l ja katserühmas 0,54 mmol/l ning poegimisjärgselt ei tõusnud rühmade keskmised väärtused üle 1,10 mmol/l. Kontrollrühmas oli kümnest katseloomast neljal BHB väärtus pärast poegimist vähemalt üks kord üle 1,20 mmol/l, katserühmas aga üheksast viiel. Samas, kuna katseloomad kasutasid NEFA-sid energiaallikana efektiivselt, siis ei haigestunud nad ketoosi.

KOKKUVÕTE

Sujuv üleminekuperiood hõlmab endas mitmeid aspekte: kinnisperioodil tuleb vältida loomade ülesöötmist, et tagada optimaalne toitumus poegimisel ja piisav kuivaine söömus poegimisjärgselt. Negatiivse energiabilansi tekke vältimiseks on oluline, et loomade söömus säiliks, et nii elatusele, tiinusele kui ka toodangu moodustamiseks kuluv energia oleks piisav.

Suur osa söödas olevast glükoosist on tärklises. Tärklis on aga vatsas kiiresti lõhustuv, mistõttu jõuab peensoolde väga minimaalne kogus esialgselt söödas olnud glükoosist. Kaitstud glükoosi eesmärgiks on muuta söödas olev glükoos vatsabakteritele kättesaamatuks, mille tulemusena jõuab suurem kogus glükoosi peensoolde.

Katseloomade söömus muutus vastavalt organismi füsioloogilistele muutustele (poegimiseelselt ja -järgselt). Nädal enne poegimist oli keskmine kuivaine söömus kontrollrühmas 13,05 kg ning katserühmas 14,15 kg päevas, peale seda hakkas söömus tõusma. Katseperioodi lõpus oli kontrollrühma keskmine kuivaine söömus 20,72 kg ja katserühmas 21,68 kg päevas. Katseperioodi keskmine piimatoodang 7. lüpsipäeval oli kontrollrühmas 30,22 kg ning katserühmal 34,34 kg, katseperioodi lõpus oli katserühmade piimatoodang vastavalt 38,93 kg ja 42,48 kg päevas. Samuti oli katserühma negatiivne energiabilanss sügavam võrreldes kontrollrühmaga, see viitab intensiivsemale kehavarude kasutamisele. Tervikuna oli katserühma vere NEFA tase kõrgem, samas glükoosi sisaldus vereplasmas madalam võrreldes kontrollrühmaga.

Käesoleva magistritöö tulemused näitasid, et kaitstud glükoosi täiendav söötmine suurendas katseperioodil lehmade piimatoodangut. Kuigi katserühma loomade kehavarude kasutamine oli intensiivsem (energiabilanss negatiivsem ja esterduumata rasvahapete kontsentratsioon veres suurem), siis ei toonud see kaasa suuremat ketoosi haigestumise riski. See tähendab, et lisaks söödatud glükoos suunati suuremal hulgal udarasse ja seda kasutati piima sünteesiks.

KASUTATUD KIRJANDUS

- Abbas, Z., Sammad, A., Hu, L., Fang, H., Xu, Q., Wang, Y.** (2020) Glucose Metabolism and Dynamics of Facilitative Glucose Transporters (GLUTs) under the Influence of Heat Stress in Dairy Cattle. – *Metabolites*, 10(8), pp. 312. DOI:<https://doi.org/10.3390%2Fmetabo10080312>
- AOAC.** (2023). Official Methods of Analysis, 22nd Edition (2023) [WWW Document], n.d. AOAC INTERNATIONAL. URL: <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>(accessed 5.17.23)
- Aschenbach, J. R., Kristensen, N. B., Donkin, S. S., Hammon, H. M., Penner, G. B.** (2010). Gluconeogenesis in dairy cows: the secret of making sweet milk from sour dough. – *IUBMB Life*, 62(12), pp. 869-77. DOI: <https://doi.org/10.1002/iub.400>
- Barletta, R. V., Filho, M.M., Carvalho, P.D., Del Valle, T.A., Netto, A.S., Renno., Mingoti, R.D., Gandra, J.R., Mourao, G.B., Fricke, P.M., Sartori, R., Madureira, E.H., Wiltbank, M.C.** (2017). Association of changes among body condition score during the transition period with NEFA and BHBA concentrations, milk production, fertility, and health of Holstein cows. - *Theriogenology*, 104, pp. 30-36. DOI: [10.1016/j.theriogenology.2017.07.030](https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.07.030)
- Benedet, A., Manuelian, C. L., Zidi, A., Penasa, M., De Marchi, M.** (2019). Invited review: β -hydroxybutyrate concentration in blood and milk and its associations with cow performance. – *Animal*. The animal Consortium 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/S175173111900034X>
- Caixeta, L.S., Omontese, B.O.** (2021). Monitoring and Improving the Metabolic Health of Dairy Cows during the Transition Period. – *Animals*, 11(2), pp. 352. DOI: <https://doi.org/10.3390%2Fani11020352> (14.05.2024)
- Drackley, J. K.** (2000). Use of NEFA as a Tool to Monitor Energy Balance in Transition Dairy Cows. – Dairy Cattle Illinois Livestock Trail. University of Illinois. [veebileht] <http://livestocktrail.illinois.edu/dairynet/paperDisplay.cfm?ContentID=330> (23.05.2024)
- EPJ - Eesti Põllumajandusloomade Jõudluskontroll. (2024). Eesti jõudluskontrolli aastaraamat 2023. Eesti Põllumajandusloomade Jõudluskontrolli AS. Lk 62.
- Grummer, R. R.** (1995). Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. – *Journal of Animal Science*, 73 (9), pp. 2820-2833. DOI: <https://doi.org/10.2527/1995.7392820x>

- Grummer, R. R., Mashek, D. G., Hayirli, A.** (2004). Dry matter intake and energy balance in the transition period. - *Vet Clin Food Animal*, 20(3), pp. 447–470. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cvfa.2004.06.013>
- Harder, I., Stamer, E., Junge, W., Thaller, G.** (2019). Lactation curves and model evaluation for feed intake and energy balance in dairy cow. – *Journal of Dairy Science*, 102(8), pp. 7204-7216. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15300>
- Herd, T. H.** (2000). Ruminant Adaptation to Negative Energy Balance: Influences on the Etiology of Ketosis and Fatty Liver. – *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 16(2), pp. 215-230. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0749-0720\(15\)30102-X](https://doi.org/10.1016/S0749-0720(15)30102-X)
- Jaakson, H., Karis, P., Ling, K., Runin, M., Ots, M.** (2019). Lipogeneesi ja lipolüüsi reguleerivate geenide avaldumise erinevas toitumuses holsteini tõugu lehmade rasvkoes poegimiseel ja järgsel perioodil. – Terve loom ja tervislik toit. Artiklite kogumik. /Toim. M. Kass. Publicon OÜ: Tartu. Lk 79 – 84
- Janovick, N. A., Boisclair, Y. R., Drackley, J. K.** (2011). Prepartum dietary energy intake affects metabolism and health during the periparturient period in primiparous and multiparous Holstein cows. – *Journal of Dairy Science*, 94, pp. 1385–1400. DOI:
- Joost, U.** (2015). Insuliiniresistentsuse seos elustiiliharjumusega noortel täiskasvanutel Eestis. (Magistritöö). Tartu Ülikool tervishoiu instituut. Tartu.
- Karis, P., Jaakson, H., Ling, K., Runin, M., Henno, M., Waldmann, A., Ots, M.** (2021). Body condition effects on dry matter intake and metabolic status during the transition period in holstein dairy cows. – *Journal of Agricultural Science*, 1(32), pp. 49-58. DOI: <https://doi.org/10.15159/jas.21.05>
- Kaufman, E. I., Asselstine, V. H., LeBlanc, S. J., Duffield, T. F., DeVires, T. J.** (2018). Association of rumination time and health status with milk yield and composition in early-lactation dairy cows. - *Journal of Dairy Science*, 101(1), pp. 462-471. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12909>
- Kärt, O.** (2011). Söötmissstrateegilised võtted lehmade söötmisel laktatsiooni eri aegadel. Uurimistulemusi ja seiukohti piimalehmade söötmisel. Tartu: Eesti Maaülikool.
- Leblanc, S.J., Lissemore, K.D., Kelton, D.F., Duffield, T.F., Leslie, K.E.** (2006). Major Advances in Disease Prevention in Dairy Cattle. – *Journal of Dairy Science*, 89(4), pp. 1267–1279. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72195-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72195-6)
- Li, XP., Tan, ZL., Jiao, JZ., Long, DL., Zhou, CS., KL, Yi., Liu CH., Kang, JH., Wang, M., Duan, FH., Tang, SX., He, ZX., Han, XF.** (2019). Supplementation with fat-coated rumen-protected glucose during the transition period enhances milk production and influences blood biochemical

- parameters of liver function and inflammation in dairy cows. – *Animal Feed Science Tehnology*, 252, pp. 92-102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.04.010>
- Li, X.P., Tan, Z.L., Li, Z.C., Gao, S., Yi, K.L., Zhou, C.S., Tang, S.X., Han, X.F.** (2021). Metabolomic changes in the liver tissues of cows in early lactation supplemented with dietary rumen-protected glucose during the transition period. – *Animal Feed Science and Tehnology*, 281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115093>
- McArt, J. A. A., Nydam, D. V., Oetzel, G. R., Overton, T. R., Ospina, P. A.** (2013). Elevated non-esterified fatty acids and β -hydroxybutyrate and their association with transition dairy cow performance. - *In Veterinary Journal*, 198(3) pp. 560–570. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.08.011>
- McCarthy, C.S., Dooley, B.C., Branstad, E.H., Kramer, A.J., Horst, E.A., Mayorga, E.J., Al-Qaisi, M., Abeyta, M.A., Perez-Hernandez, G., Goetz, B.M., Castillo, A.R., Knobbe, M.R., Macgregor, C.A., Russi, J.P., Appuhamy, J.A.D.R.N., Ramirez-Ramirez, H.A., Baumgard, L.H.** (2020). Energetic metabolism, milk production, and inflammatory response of transition dairy cows fed rumen-protected glucose. - *Journal of Dairy Science*, 103, pp.7451-7461. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18151>
- Mekuriaw, Y.** (2023). Negative energy balance and its implication on productive and reproductive performance of early lactating dairy cows: review paper. – *Journal of Applied Animal Research*, 51(1), pp. 220-228. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2023.2176859>
- Metabolic Diseases of Dairy Cattle. (2013). /Toim. Herdt. T. H., Smith, R. A. Philadelphia: Elsevier. 467 lk
- Moallem, U., Folman Y., Sklan D.** 2000. Effects of somatotropin and dietary calcium soaps of fatty acids in early lactation on milk production, dry matter intake, and energy balance of high-yielding dairy cows. – *Journal of Dairy Science*, 83, pp. 2085–2094. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(00\)75090-9](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(00)75090-9)
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASSEM). (2021). Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press. Pp. 502.
- Overton T. R., Waldron M. R.** (2004). Nutritional management of transition dairy cows: Strategies to optimize metablic health. - *Journal of Dairy Science*, 87, pp. 105-119. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)70066-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70066-1)
- Pascottini, O.B., Leroy, Jo L.M.R., Opsomer G.** (2020). Metabolic Stress in the Transition Period of Dairy Cows: Focusing on the Prepartum Period. – *Animals*, 10(8), pp. 1419. DOI: <https://doi.org/10.3390%2Fani10081419>

- Reynolds, C.K.** (2005). Glucose Balance in Cattle. - *Florida Ruminant Nutrition Symposium*. /C. K. Reynolds. Proceedings of the Florida Ruminant Nutrition Symposium. Gainesville, FL, USA, pp. 143–154 <https://animal.ifas.ufl.edu/apps/dairymedia/rns/2005/Reynolds.pdf>
- Sauls-Hiesterman, J.A., Banuelos, S., Atanasov, B., Bradford, B.J., Stevenson, J.S.** (2020). Physiologic responses to feeding rumen-protected glucose to lactating dairy cows. – *Animal Reproduction Science*, 216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2020.106346>
- Serrenho, R. C., Williamson, M., Berke, O., LeBlanc, S. J., DeVires, T. J., McBride, B. W., Duffield, T.F.** (2022). An investigation of blood, milk, and urine test patterns for the diagnosis of ketosis in dairy cows in early lactation. - *Journal of Dairy Science*, 105(9), pp.7719-7727. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21590>
- Sjaunja, L. O., Baevre L., Junkkarinen L., Pedersen J. ja Setälä J.** (1990). A Nordic proposal for an energy-corrected milk (ECM) formula. 27th Session International Committee for Recording and Productivity of Milk Animals; 2-6 July 1990, Paris, France
- Suthar, V., Canelas–Raposa, J., Abdulkermin, D., Heuwieser, W.** (2013). Prevalence of subclinical ketosis and relationships with postpartum diseases in European dairy cows. – *Jouranal of Dairy Science*, 96(5) DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-603>
- Zilmer, M., Karelson, E., Vihalemm, T., Rehema, A., Zilmer, K.** (2006). Inimorganismi biomolekulid ja metabolism. Tallinn: Avita. 462 lk.
- Triwutanon, S., Rukkwamsuk, T.** (2021). Factors associated with negative energy balance in periparturient dairy cows raised under tropical climate of Thailand—A mini-review. – *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*, 8(3), pp. 378-387 DOI: <https://doi.org/10.54555%2Fjavar.2021.h526>
- Wang, Y. P., Cai, M., Hua, D. K., Zhang, F., Jiang, L. S., Zhao, Y. G., Wang, H., Nan, X. M., Xiong, B. H.** (2020). Metabolomics reveals effects of rumen-protected glucose on metabolism of dairy cows in early lactation. - *Animal Feed Science and Technology*, 269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114620>
- Weber, C., Schäff, C. T., Kautzsch, U., Börner, S., Erdmann, S., Görs, S., Röntgen, M., Sauerwein, H., Bruckmaier, R. M., Metges, C. C., Kuhla, B., Hammon, H. M.** (2016). Insulin-dependent glucose metabolism in dairy cows with variable fat mobilization around calving. – *Journal of Dairy Science*, 99(8), pp. 6665 – 6679 DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11022>
- Wilcox, G.** (2005). Insulin and insulin resistance. – *The Clinical Biochemistry*, 26(2), pp. 19-39.

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning
juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Anne Alliku,
sünniaeg 5.04.1999,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö
Kaitstud glükoosi mõju piimalehmade energiabilansile ja ainevahetusele üleminekuperioodil,
mille juhendaja(d) on Priit Karis *PhD*, Hanno Jaakson *PhD* ja Katri Ling *PhD*

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

- 2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
- 3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor Anne Alliku Tartu, 4.06.2024

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Priit Karis	04.06.24
(juhendaja nimi ja allkiri)	(kuupäev)
Hanno Jaakson	05.06.24
(juhendaja nimi ja allkiri)	(kuupäev)
Katri Ling	05.06.24
(juhendaja nimi ja allkiri)	(kuupäev)