

Eesti Maaülikooli veterinaarmeditsiini ja loomakasvatuse instituut

Rakendusüingu lühiaaruanne 2007-2011

**Veiste jalahaiguste automaatse seiresüsteemi väljatöötamine**

Projektijuht: Väino Poikalainen  
Projektitajad: Jaan Praks  
Andres Aland  
Eugen Kokin  
Imbi Veermäe

Tartu 2012

## Eesmärgid:

Projekti eesmärgiks oli luua pilootsüsteem veiste jäsemehaiguste varajaseks avastamiseks:

1. kohaldades varasemas rahvusvahelises koostöös välja töötatud jalasurve mõõtmise automaatsüsteemi lüpsiplatsiga vabapidamislauda jaoks,
2. luues lehmade kõndi registreeriv kvaasi-piezoelektriline mõõtesüsteem,
3. töötades välja registreeritavate andmete arvutipõhine analüüsi põhimõtted.

## Tegevused:

Projekti käigus sooritati alljärgnevad tööd:

1. lonkeastme eksperthindamine vabapidamisega tootmislauda lehmadel
2. uuring lehmade jalaseisundi automaathindamiseks jõusööda selvesõimes automaatkaalude abil
3. uuring lehmade jalaseisundi seireks kahe kvaasi-piezoelektriline anduriga ülekäigumati abil
4. automaatidentifitseerimisega kvaasi-piezoelektrilise 10-andurilise mõõtesüsteemi väljatöötamine
5. uuring lehmade kõnni automaatregistreerimiseks surveandurite maatriksiga
6. lehmade kõnni automaatne analüüs videosalvestiste põhjal
7. lehma jalgade kiirgustemperatuuri määramine ja analüüs

## Tulemused:

Suurtes vabapidamisega piimatootmise lautades hinnati 7857 lehma lonkeastet visuaalse vaatlusega Spencer jt meetodika järgi. Selle tulemused olid järgmised: lonkeaste 1 (terved lehmad) esines 6012 lehmalt (76%), lonkeaste 2 – 1181 lehmalt (15%), lonkeaste 3 – 522 lehmalt (7%), lonkeaste 4 – 105 lehmalt (1,5%) ja lonkeaste 5 – 37 lehmalt (0,5%).

Arvestades jalahaiguste suurt majanduslikku kahju ja nende olulisust lehmade heaolu seisukohast, on haigustunnuste varane automaatne avastamine, eriti suurlautades, väga tõsine väljakutse.

Käesoleva uuringu käigus keskenduti jalaseisundi automaatseire võimaluste selgitamisele kasutades eelkõige:

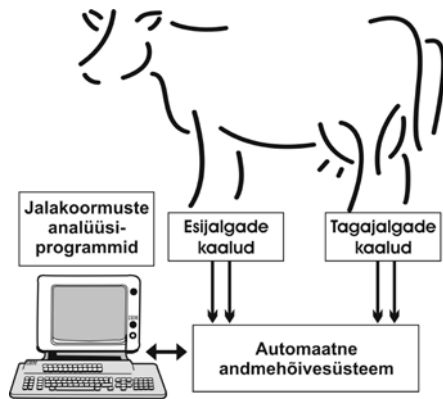
1. jalgade koormusjaotuse määramist nelja kaalu abil,
2. kõnnimustri registreerimist ülekõndi registreerivate andurmattidega (kvaasi-piezoelektriline ja surveanduritega maatriksmatt),
3. kõnni videoregistreerimist ja -analüüsi.

Täiendavalt uuriti jalatervise registreerimise võimalusi jalgade kiirgustemperatuuri registreerimise kaudu.

### *Jalakoormuste registreerimine nelikkaalu abil*

Lehmade jalakoormuste mõõtmiseks paigaldati jõusöödalatri põrandasse neli tööstuslikku automaatkaalu platvormi (**joonis 1**). Arvutisse salvestatud andmete põhjal arvutati lehmade jalakoormuste indeksid, mis väljendasid iga jala osakaalu kogu keha kaalus. Katsed sooritati

neljas seerias 55 lehmaga. Vastavalt kõnni hindamise tulemustele jagati loomad viide gruppi: normaalne kõnd (hinne 1 vastavalt Sprecheri jt metoodikale), üks tagumine jalg mõõduka lonkega (hinne 3), üks tagumine jalg tugeva lonkega (hinne 4-5), üks esimene jalg mõõduka või tugeva lonkega (hinne 3-4) ja mõlemad tagumised jalad mõõduka või tugeva lonkega (hinne 3-4). Jalgade koormust registreeriti viie minuti jooksul. Iga jala jaoks arvutati jalakoormuse indeks (JKI – jalakoormuse suhe kehamassi).



**Joonis 1.** Jalakoormuste määramiseks kasutatud mõõtesüsteemi skeem

Andmete analüüsiks kasutati Wilcoxon'i testi ja Wilcoxon'i astakmärgi testi. Tulemused on toodud **tabelis 1**.

**Tabel 1.** Loomade jalakoormuste indeksid (keskmine ± standardhälve)

Lehma grupid	Loomade arv	Maksimaalne kehamass (kg)	JKI vähem koormatud esijalg	JKI enam koormatud esijalg	JKI vähem koormatud tagajalg	JKI rohkem koormatud tagajalg	Esijalgade JKI summa	Tagajalgade JKI summa
Normaalne kõnd	12	635	0.232±0.031	0.295±0.017	0.202±0.013 <sup>a</sup>	0.224±0.018 <sup>a</sup>	0.527±0.024	0.426±0.025
Mõõdukas longe (tagajalg)	14	658	0.248±0.034	0.312±0.041	0.143±0.025 <sup>bc</sup>	0.236±0.038 <sup>ab</sup>	0.560±0.051	0.379±0.041
Tugev longe (tagajalg)	17	610	0.239±0.030	0.295±0.030	0.099±0.044 <sup>b</sup>	0.307±0.059 <sup>c</sup>	0.534±0.044	0.406±0.041
Longe (esijalg)	4	636	0.169±0.068	0.298±0.037	0.215±0.016 <sup>ab</sup>	0.244±0.020 <sup>abc</sup>	0.466±0.063	0.459±0.028
Longe (mõlemad tagajalad)	8	614	0.254±0.012	0.290±0.037	0.178±0.020 <sup>ac</sup>	0.214±0.029 <sup>ab</sup>	0.544±0.043	0.392±0.041

<sup>a,b,c</sup> ülaindeksitega tähistatud veergudes olevad keskmised erinevad oluliselt  $p < 0.05$

**Tabelis 2** on toodud iga loomagrupi sisesed JKI erinevused.

**Tabel 2.** Loomagrupi sisesed JKI erinevused

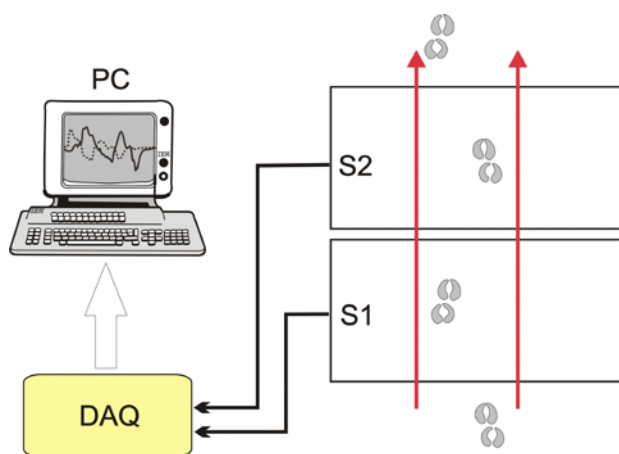
Testitud erinevus	Normaalne kõnd	Mõõdukas longe (tagajalg)	Tugev longa (tagajalg)	Longe (esijalg)	Longe (mõlemad tagajalad)
Rohkem koormatud esijalg – vähem koormatud esijalg	0.063*	0.064*	0.056*	0.129	0.036
Rohkem koormatud tagajalg – vähem koormatud tagajalg	0.022*	0.093*	0.208*	0.029	0.036
Esijalad – tagajalad	0.101*	0.181*	0.128*	0.007	0.152

\* $p < 0.05$ , Wilcoxon'i test Bonferroni korrigeerimisega

Sooritatud uuringutest selgus, et esijalgade tervisliku seisundi hindamine jõusööda selvesõimes on komplitseeritud, kuna jõusööda söömise ajal on ka terve looma esijalad ebavõrdselt koormatud. Tagajalgade koormusjaotuse analüüs annab aga usaldatavaid tulemusi nende tervisliku seisundi hindamisel. Tulemused näitasid, et elektroonse nelikkaaluga abil on automaatses jõusööda selvesõimes võimalik koguda väärtuslikku jalatervist kajastavat informatsiooni, eriti lehma tagajalgade kohta. Jalakoormuse indekseid kasutamine võimaldab automatiseerida lonkeastme hindamist.

### ***Lehmade kõnnimustri registreerimine kaheandurilise kvaasi-piezoelektrilise mõõtematiga***

Kvaasi-piezoelektrilised andurid reageerivad neile avaldatava jõu muutustele ja seetõttu on neid võimalik rakendada kõnnimustri registreerimiseks. Uuringutes registreeriti kahe



järjestikku paikneva kvaasi-piezoelektrilise andurmatiga neist loomade ülekõndi kajastavad signaalid arvutisse. Mattides paiknevate andurite signaalid digitaliseeriti vastava mõõtesüsteemiga ja salvestati jooksvalt arvutisse (**joonis 2**).

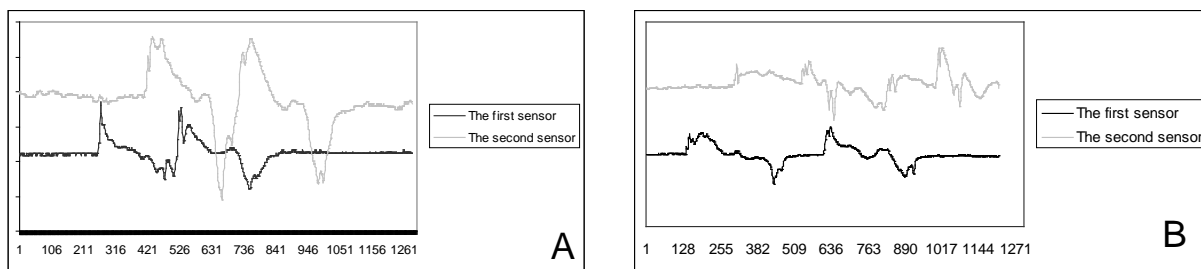
**Joonis 2.** Lehmade kõnnimustri automaatse registreerimise süsteem: PC – arvuti, DAQ – andmehõivesüsteem, S1 – esimene sensor, S2 – teine sensor, ↑ - loomade liikumise suund

Ülekäigumati andmefailid salvestati txt formaadis, kodeeritult kellaajaga. Eeltöötlemise järgselt andmed (mõõtesagedus 200 Hz, 60 000 mõõtmist) salvestati Exceli formaati, andmete visualiseerimiseks koostati 1-minutiliste intervallide kaupa graafikud, millele lisati andmebaasist lehmade identifitseerimisnumbrid. Katsete sooritamise käigus salvestati samaaegselt iga katsealuse looma kõnd videosse ning ekspertkomisjoni poolt määrati visuaalselt lehmade lonkeastmed (**joonis 3**).



**Joonis 3.** Kõnni registreerimise katsesüsteem: andmesalvestuse töökoht, lehma numbrit registreeriv kaamera ja kõnni registreerimisala

Hiljem viidi läbi signaalianalüüs (kõvera käänupunktide asukohtade määramine, joonealuse pinna integreerimine, signaali lokaalsete ekstreemumite määramine jms). Saadud tulemuste põhjal arvutati omakorda korrelatsioone jt muid parameetreid seoses jalatervise näitajatega. Tulemuste interpreteerimiseks on oluline, et lehmad liiguksid üle andurmati mõõdukas tempos. Juhul kui loomad matil seisatavad, libisevad või jooksevad on signaalide interpreteerimine komplitseeritud. Juhul kui loomad liiguvad üle mati mõõdukas tempos on võimalik visuaalselt eristada tervete ja lonkavate loomade käimismustrit (**joonis 4**).



**Joonis 4.** Lehma kõnnimustrid: (A) – terve, (B) – longe kolm

Terve looma kõnnimuster on korrapärasem, lonkava looma käimismustrit iseloomustab teatud korrapärasus ja täiendavad väljalöögid. Mõõtetulemuste analüüsil selgus, et tervete loomade käimismustris on vähem väljalööke (5-7 positiivset ja 4 negatiivset piiki versus kuni 13 positiivset ja 6-7 negatiivset), käänupunktide arv oli vastavalt 12-13 versus 18-23; terve looma käimismustri esimene piik oli oluliselt kõrgem kui teine. Piikidevaheline kaugus onenes samuti lehmade lonkeastmest. Need ülekäigumati informatiivsed parameetrid on kasutatavad lonke hindamise algoritmide sisenditena.

Kuigi tervete ja lonkavate loomade käimismustrid on erinevad, tuleb lahendada veel mitmeid probleeme. Suur varieeruvus nii tervete kui ka lonkavate loomade käimismustrites teeb lonke automaatsel määramisel ettearvamatult keeruliseks. Samas, käimismustrite pidev registreerimine võimaldab kindlaks teha loomade individuaalsed käimismustrid ja hinnata longet nende muutuste baasil.

Katsetulemustest selgus, et lonke korrelatsioonid kvaasipiezoelektriliste andurite signaalide analüüsiks kasutatud identifikaatoritega pole piisavalt head nende rakendamiseks automaatsüsteemides. Reaalajas toimiva algoritmi jaoks on oluline, et nende signaalide põhjal oleks võimalik identifitseerida ka konkreetsed jalad, mis vastavad antud signaalidele.

Mõõtesignaalide töötlemisel stohhastilise analüüsi programmidega (näiteks rakendades neuraalvõrgustiku tõenäosuslikku mudelit vms) võib küll osutada võimalikuks lonkeastet automaatselt määrata, kuid kahjuks puudus tööühmas vastava ala spetsialist ning selle palkamiseks ka vahendid. Edaspidistes uuringutes tuleks aga kindlasti vastava vajadusega arvestada.

Edasisteks rakenduslikeks arendusteks töötati välja mõõtesüsteemi tarkvara, mis võimaldab andureid kalibreerida ja kompenseerida signaalide triivi ning kümne anduriga mõõtematt lehmakõnni registreerimiseks. Samuti loodi põhimõtteline lahendus mõõtesüsteemi sidumiseks automaatsel lehmade identifitseerimisega.

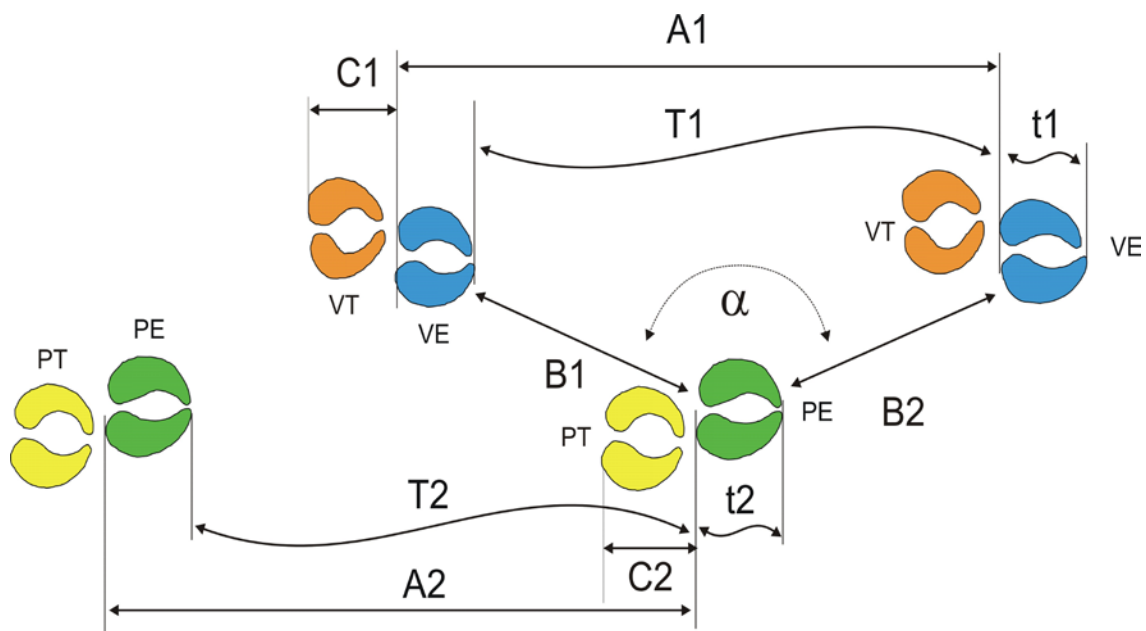
### *Lehmade kõnni automaatregistreerimine surveandurite maatriksiga*

Lehmade kõnniparameetrite üksikasjalikuks registreerimiseks viidi läbi katsed survetundliku 5400 andurilise Tekscan (USA) maatriksmatiga, mis paigaldati kõnnistendina EMÜ katselauda. See koosneb alusest, millele on kinnitatud alusmatt koos jalasurve maatriksmati, ühenduspistikute kaitseplaatide ning elastsete katetega koos niiskuskaitsega (**joonis 5**).



**Joonis 5.** Kõnnistendi montaaž alusele: vasakul jalasurve maatriksmati, paremal katete paigaldamine

Stend on paigaldatav lüsiplatsilt väljuvate lehmade teele pärast automaatkaalu või lüsirobotist väljuvate lehmade käiku. Maatriksmatiga salvestatud ja analüüsitud kõnniparameetreid selgitab **joonis 6**. Vastavaid analüüsitulemusi iseloomustab **tabel 3**.



**Joonis 6.** Analüüsitud kõnniparameetrid: A1, A2 – kõnni pikkus, B1, B2 – sammu pikkus, T1, T2 – hoofaas, t1, t2 – toefaasi kestus, VE – vasak esijalg, VT – vasak tagajalg, PE – parem esijalg, PT – parem tagajalg,  $\alpha$  – sammu nurk, C1 – kattumine

**Tabel 3.** Lehma kõnni põhiparameetrid (nelja jala keskmine)

<b>Kõnniparameeter ja selle mõõtühik</b>	<b>Tähis</b>	<b>Mõõtetulemus, keskmine ja standardhälve</b>	<b>Kirjeldus</b>
Kõnni pikkus, cm	A	126,1 ± 29,0	Vahemaa sama jala kahe järjestikuse jäljendi vahel
Toefaasi kestus, s	t	1,2-1,3 ± 0,3-0,4	Aeg, mille jooksul jalg toetub mõõtematile
Hoofaasi kestus, s	T	0,4-0,6 ± 0,03-0,05	Aeg, mille jooksul jalg ei puutu mõõtematti
Kõnni kestus, s	T+t	1,7-2,0 ± 0,4-0,6	Aeg jala puutest kuni sama jala järgmise puuteni matiga
Esijalgade toefaasi asümmeetria	t1/t2	1,00 ± 0,17	Suhtarv, mis saadakse vasaku esijala toefaasi kestuse jagamisel parema esijala toefaasi kestusega
Tagajalgade toefaasi asümmeetria	t3/t4	0,99 ± 0,21	Suhtarv, mis saadakse vasaku tagajala toefaasi kestuse jagamisel parema tagajala toefaasi kestusega
<b>Jalajälgede mõõtmisel saadud näitajad</b>			
Sammu pikkus, cm	B	69,5-73,0 ± 8,5-10,0	Vahemaa kahe järjestikuse vasaku-parema tagajala vahel ja vasaku-parema esijala vahel
Sammu nurk, (°)	α	138-150 ± 11,8-12,5	Nurk sirgete vahel, mis ühendavad kolme järjestikust tagajala jäljendit ning kolme järjestikust esijala jäljendit
Sammu asümmeetria, cm	B1-B2	10,7-12,5 ± 4,7-10,0	Kahe järjestikuse sammude pikkuse vahe absoluutväärtus
Kattumine, cm	C1	19,1-21 ± 10,6-15,3	Esijala jäljendi ja sama külje tagajala jäljendi vahemaa arvvaartus, mõõdetud jäljendi jõukeskpunktist. Kirjeldab tagajala positsiooni sama külje esijala suhtes. Kui tagajala jäljend on eespool esijala jäljendit, on arvvaartus negatiivne.
Maksimumsurve positsioon, cm ja surve nurk (°)		3,5-3,9 ± 0,7-1,2 Vasak külg 109-140° ± 76-88° Parem külg 218-249° ± 55-99°	Kaugus ja nurk võrreldes jõukeskpunktiga jalajäljendil looma liikudes vasakult paremale. Maksimumsurve nurga väärtus 0-180° vasaku külje jalajäljenditel näitab selle lateraalset positsiooni, 181-360° mediaalset positsiooni, parema külje jalajäljenditel vastavalt 0-180° mediaalset ja 181-360° lateraalset positsiooni.

Paljud näitajad, mis saadakse survemati tarkvarapaketi abil, sõltuvad mati pikkusest ja jala esimese kokkupuutekoha kaugusest mati äärest. Paremaid tulemusi on võimalik saada, kui

matil on vähemalt 12 kokkupuudet jalaga, st kaks kõnnitsükli iga jala kohta. Meie katses oli jalapuudete arv matiga keskmiselt 5,8 korda, seega osa parameetreid ei olnud võimalik arvutada. Et saada täiendavat informatsiooni lehma kõnni kohta, arvutasime lisaks viis näitajat jalajäljenditelt. Sammu nurk iseloomustab sammu laiust (distanti vasaku ja parema esijalaning vasaku ja parema tagajalajäljendite paralleeljoonte vahel). Suur nurk iseloomustab minimaalset lateraalset paiknemist liikumisel.

Maksimumjõu positsiooni hindamiseks jalajäljenditel kasutasime lisaks kaugusele jõukeskkohast ka nurganäitu (nurk looma liikumise suunda iseloomustava sirgjoone ja jalajäljendil jõu keskpunkti ning maksimumjõudu tähistavate markerite ühendusjoone vahel). Nurganäit annab täpset informatsiooni maksimumjõu asukohast jäljendil. Tavaliselt on sõra lateraalne külg rohkem koormatud. Maksimumjõu asukoha lokaliseerimine annab väärtuslikku informatsiooni mitmete jalahaiguste kohta nagu tallahaavandid, valgeviiru haigused jne. Kõiki tabelis toodud näitajaid on võimalik kasutada jalahaigustest põhjustatud kõnnimustri muutuste avastamiseks.

Surveandurite maatriksmati abil on võimalik registreerida kõiki olulisi kõnniparameetreid: iga jala sammu pikkust, toefaasi kestvust, hoofaasi kestvust, kõnni kestvust, asümmeetriat jne, mis on küllaldased lonkeastme automaatseks hindamiseks. Samas on selline seiresüsteem liiga kallis rutiinse seire juurutamiseks tootmislaudas. Edaspidi tuleks läbi viia paralleeluuringud maatriksmati ja kvaasi-piezoelektrilise matiga, et leida sobiv lahendus kvaasi-piezoelektrilise mõõtemati signaalide adekvaatsemaks tõlgendamiseks automaatsel lehmade jalaseirel. Maatriksmati kasutamine tugiantmete allikana kvaasi-piezoelektrilise andurmati signaalide interpreteerimisel võimaldab omakorda luua toimivat analüüsialgoritmi lonkeastme määramiseks kvaasi-piezoelektrilise mõõtesüsteemi jaoks. Väga suur perspektiiv on nimetatud maatriksmati kasutamisel jalahaiguste diagnostilise abivahendina.

### ***Lehmade kõnni automaatne analüüs videosalvestiste põhjal***

Videouuringutes salvestati lehmade kõndi kolme eri kaameraga (üla-, külg- ja sõrakaamera). Saadud videod analüüsiti Leuveni Katoliiklikus Ülikoolis (Belgia). Vastavad katsed ja lonke visuaalne hindamine (koos hilisema andmete eeltötlusega) viidi läbi vabapidamisega tootmislaudas Eestis. Andmete videotöötlus sooritati Belgias koostöös Leuveni Katoliikliku Ülikooliga. Videosignaalide hõiveks kasutati ülalt-, külg- ja lähivaate kaamerat. Võimalikult laia salvestusnurga saavutamiseks kasutati 1,3 mm fookuskaugust. Kaamerate töö sünkroniseerimiseks kasutati täiendavalt NI6601 kontrolleri. Videofailid salvestati kahe PCI-



FireWire kaardiga varustatud personaalarvutis, mille hankimist ja andmetöötluse meetodika loomist toetas Helsingi Ülikooli agrotehnoloogia osakond. Kaamerate asukohad on toodud **joonisel 7.**

**Joonis 7.** Videosignaalide hõivesüsteem Vorbuse tootmislaudas: (*top view* – ülaltvaate kaamera; *hoof view* – lähivaate kaamera; *side view* – külgvaate kaamera.)

Videosignaalid salvesti tarkvara



StreamPix 4 (NorPix Inc., Montreal, Canada) abil. Kokku sooritati 18 katset kestvusega neli tundi igäüks. Järjestikku kõndivate lehmade automaatseks eristamiseks kasutati 2009. aastal väljatöötatud ja 2010. aastal täiendatud algoritmi.

Lonkeastme määramiseks rakendati seljakaare kolmeastmelist analüüsi. Esmalt lokaliseeriti (järe segmenteerimine) lehm videokaadris vastava riskülikuga (**joonis 8**), sellele järgnes keha piirjoonte eristamine ehk peensegmenteerimine ning lõpuks sooritati seljakaare parameetrite hindamine.



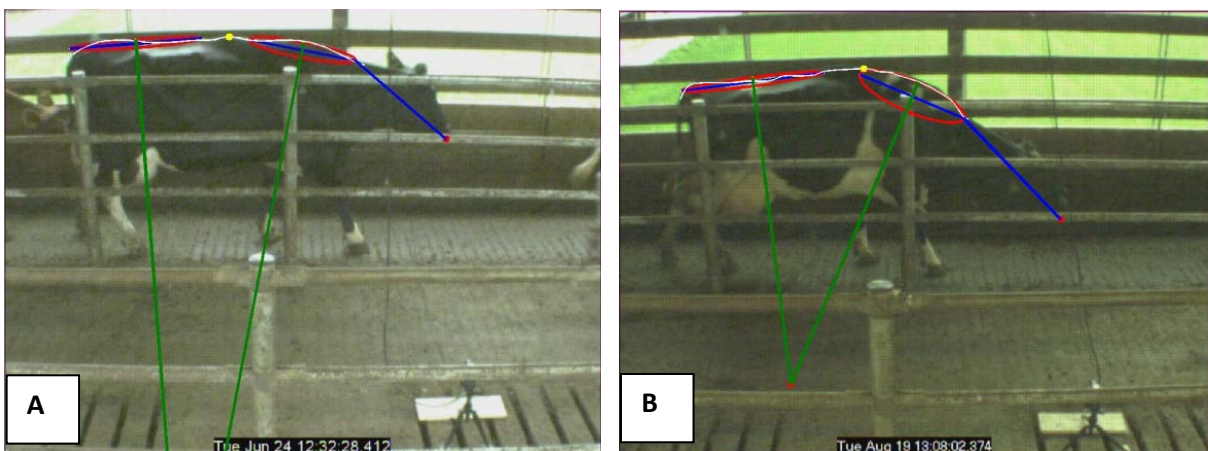
**Joonis 8.** Lehma lokaliseerimine videotöötlusel riskülikuga

Peensegmenteerimisel eraldati pildikaadrist lehma kontuur, koos seljakaare ja pea asendiga. Seejuures tehti vastav analüüs ainult neist kaadritest, mil lehma tagajalad olid kokkupuutes põrandaga. Samal etapil viidi läbi ka erinevates kaadrites stabiilsena püsinud tausta lahutamine

lehmakujutisest fototöötuse võtetega. Saadud seljakaare joonest arvutati kogupikkus ja edasises analüüsis kasutatavate tugipunktide paiknemine.

Kõnni automaatanalüüsil kasutati lisaks seljakaare parameetritele ka lehma peasendi näitajaid. Selleks loodi kahel ellipsil (seljajoon) ning sirgjoonel (peasend) põhinev kontuuri matemaatiline mudel ning analüüsiti sellega toimuvaid muutusi kõndimisel (**joonis 9**).

Seljakontuuri analüüsil jagunesid lehmad kolme kategooriasse. Tervetel loomadelt osutus selja kontuur enam-vähem sirgjooneks. Mõõdukalt lonkavate (lonkeaste 2 ja 3) lehmade selja kontuur oli kumer ja sümmeetriline. Raskelt lonkavate (lonkeaste 4 ja 5) lehmade selja kontuur oli kumer ja ebasümmeetriline.



**Joonis 9.** Kehahoiu näitajad: **A** – tervel, **B** – lonkaval lehmal

Kokku analüüsiti enam kui 3200 lehma kõndi (**tabel 4**).

**Tabel 4.** Jalaseisundite jaotus katsete käigus

Lonke-aste	Kuupäev						
	06/08	06/17	06/24	07/01	07/08	07/14	07/22
1	375	400	422	434	314	330	355
2	39	36	53	50	53	58	71
3	24	30	24	30	29	27	25
4	4	5	4	4	2	5	2
5	2	2	2	5	0	0	1

Katsetulemused jalaseisundi automaadmääramisel videotöötlemise kaudu osutusid väga lootustandvaiks.

Grupiviisiliselt salvestunud individuaalsete lehmade eristamiseks videopildis, loodi spetsiaalne algoritm, mis põhineb digitaalsete kujutiste filtreerimises ja kaadrikaupa analüüsis. Selle rakendamise saavutati 95%-ne lehmade eristamine. Töötati välja lonke automaatanalüüsi algoritm, mis võimaldab seljakaare kumeruse ja peaasendi põhjal hinnata lüpsilehmade longet kolmeastmelises skaalas. Edaspidistes uuringutes tuleb keskenduda selle algoritmi rakendamisele tootmistingimuste tarbeks loodavate süsteemide jaoks, mis võimaldaks registreeritavaid kõnnivideoid töödelda reaajas. Samuti tuleb uuringuid jätkata lonke hindamise kolmeastmelise skaala laiendamiseks viieastmeliseks.

Lisaks ülaltoodule viidi läbi infrapunase kiirgustemperatuuri alane uuring. Selle käigus määrati ja analüüsiti lehma kehapiina erinevate osade temperatuurijaotusi. Mõõtmised sooritati kaameraga Fluke TiS, mis võimaldas salvestada 640x480 punktist koosnevaid termokujutisi. Need kujutised analüüsiti arvutis tarkvarapaketi SmartView. Erilist tähelepanu pöörati seejuures jalgadele. Selgus, et automaatselt registreeritavaid infrapunase kiirguse termogramme on põhimõtteliselt võimalik kasutada selleks, et lehma jalgade alaosas leida kõrvalekaldeid normaalsest temperatuurijaotusest.

### **Võrdlus rahastamistaotluses toodud eesmärgiga:**

Kõik põhilised rahastamistaotluses püstitud eesmärgid täideti. Lisaks neile töötati välja mitmeid põhimõttelisi tehnilisi lahendusi, mis toetavad rakendusuringu tulemuste rakendamist praktikas. Samuti uuriti jalahaiguste esinemise sagedust ja lonkeastet tootmislaudades ning täiendavate parameetrite kasutusvõimalusi jalatervise automaatseires.

### **Uuringute käigus saadud uued teadmised ja oskused:**

Automaatsete selvesüsteemide kasutamisel, kus lehm viibib teatud aja (lüpsirobot, jõusööda selvesõim) on võimalik jalgade tervislikku seisundit hinnata põrandasse paigaldatud kaaludel põhineva automaatsüsteemi abil. Arvutisse salvestatavate andmete põhjal arvutatavad jalakoormuste indeksid väljendavad iga jala osakaalu kogu keha kaalus ja selle kaudu ka jalgade seisundit. Lautades, kus automatiseeritud selvesüsteeme ei kasutata (näiteks lüpsiplatsi ja mikersöötmise korral) peavad automatiseeritud jalatervise seiresüsteemid põhinema kas andurmattide kasutamisel või videotöötlemisel.

Kvaasi-piezoelektrilised andurmatid osutavad kõnniparameetrite automaatregistreerimise seisukohast odavateks vahenditeks, mille abil saab salvestada informatsiooni kõnni ajaliste parameetrite dünaamika kohta. Samas ei võimalda need automaatselt seostada konkreetseid jalgu ja nendest tingitud signaale, mistõttu peab lonkeastme määramine põhinema signaalikujude üldise mustri analüüsil (lonkavate ja tervete lehmade signaalimustrite erisustel). Rakendusuuringu käigus töötati välja ka põhimõttelised lahendused jalaseire mõõtesüsteemi sidumiseks automaatse lehmade identifitseerimisega.

Surveandurite maatriksmati abil saab registreerida kõiki olulisi kõnniparameetreid: iga jala sammu pikkust, toefaasi kestvust, hoofaasi kestvust, kõnni kestvust, asümmeetriat jne, mis on küllaldased lonkeastme automaatseks hindamiseks. Sellised matid on rakenduslikes süsteemides kasutamiseks liiga kallid, kuid edukalt kasutatavad kvaasi-piezoelektriliste andurite signaalide täpsemaks interpreteerimiseks. Samuti oleksid need rakendatavad jalahaiguste kliiniliseks diagnostikaks.

Koostöös Leuveni Katoliikliku Ülikooliga (Belgia) loodi külgvaates salvestatavate videokaadrite automaatse töötamise algoritm, mis võimaldab seljakaare kumeruse ja peasendi põhjal hinnata lüpsilehmade longet kolmeastmelises skaalas. Samuti loodi spetsiaalne algoritm, mis suudab eristada grupiviisiliselt liikuvaid lehmi.

### **Järeldused, soovitused, põllumajanduslik ja majanduslik efekt:**

Jalakoormuse indekseid kaudu on lonkeastet võimalik automaatselt hinnata lüpsirobotis ja automaatsetes jõusööda selvesõimedes. Viimaste puhul tuleb arvestada sellega, et usaldatavamat informatsioon saadakse lehma tagajalgade kohta. Vastava rakendusliku süsteemi loomiseks on kõik eeldused olemas. Töökindluse hindamiseks tootmislauda tingimustes oleks vajalik projekteerida ja valmistada süsteemi prototüüp ning seda pikema perioodi jooksul katsetada.

Lehmade kõnnimustrit kajastavate signaalide automaatseks registreerimiseks on kõige odavamaks variantiks kvaasi-piezoelektrilise andureid sisaldavate ülekäigumattide kasutamine. Neil põhineva jalatervise seiresüsteemi efektiivseks juurutamiseks on vajalik lonkeastme automaatse hindamise usaldusväärse algoritmi väljatöötamine. Seetõttu on otstarbekas edasistes uuringutes keskenduda andmetöötamisele tõenäosuslike stohhastilise meetoditega, rakendades näiteks neuraalvõrgustiku mudelit vms.

Kõnniparameetrite üksikasjalikumaks analüüsiks on võimalik survetundliku maatriksmati abil, milles andurite arv ületab vähemalt tuhandet. Arvestada tuleb aga sellega, et praeguste tehniliste võimaluste juures on selline seiresüsteem veel liiga kallis rutiinseks kasutamiseks tootmislaudas. Survetundliku maatriksmati kasutamine on aga väga vajalik kvaasi-piezoelektrilise mati signaalide adekvaatsemaks tõlgendamiseks ja vastava lonkeastme määramise analüüsialgoritmi väljatöötamiseks (kummagi mõõtesüsteemi üheaegse kasutamisega).

Pikemas perspektiivis on lehmade jalaseisundi automaatne seire perspektiivne ka videotöötlusel põhineva süsteemi abil. Selle rakendamiseks tootmistingimustes tuleb aga uuringuid jätkata, loomaks võimalusi kõnnivideote töötlemiseks reaalajas ja laiendamaks lonke hindamise kolmeastmelist skaalat viieastmeliseks.

Täiendavalt läbi viidud infrapunase kiirgustemperatuuri alane uuring osutas, et ka seda parameetrit on vähemalt osaliselt võimalik kasutada jalatervise seireks, hinnates lehma jalgade alaosas kõrvalekaldeid normaalsest temperatuurijaotusest.

Edaspidi tuleks jätkata tööd rakendusuringus kasutatud meetodite võrdlevaks uurimiseks, et välja selgitada nende optimaalsed rakendamisvõimalused ja eelised konkreetsete pidamistehnoloogiate jaoks ning juurutamisega seotud aspektide lahendamiseks erinevates tootmislaudades. Samuti saab siis välja tuua ka konkreetse majandusliku efekti, mis oleneb paljuski vastava rakendusliku jalaseiresüsteemi väljatöötamise ja juurutamise kuludest.

Jalahaiguste varasema avastamise ja õigeaegse raviga võimalik vähendada haigustest tingitud piimatoodangu langust. See ulatub kirjanduse andmeil ühe lehma kohta laktatsiooniperioodil 360 kg. Meie uuringute kohaselt esineb kaasaegsetes suurlautades selgesti eristatavat lonkamist (aste 3-5) 9-15% lehmadest, millest tingitud piimatoodangu vähenemine neis laudades ulatub ligikaudu 1 800 000 kg aastas. Lisaks väheneb seoses jalahaigustega ka lehmade reproduktiivsus, heaolutase ja märgatavalt suurenevad ravikulud. Vastavate jalaseire süsteemide juurutamine võimaldab neid puudujääke märgatavalt leevendada.

<b>Projekti juht (ees- ja perekonnanimi):</b> Väino Poikalainen	<b>Allkiri:</b>	<b>Kuupäev: 28.06.2012</b>
<b>Taotleja esindaja kinnitus aruande õigsuse kohta (ees- ja perekonnanimi):</b> Andres Aland	<b>Allkiri:</b>	<b>Kuupäev: 28.06.2012</b>