



**Latvijas Lauksaimniecības universitāte
Tehniskā fakultāte
Lauksaimniecības tehnikas institūts**

**Latvia University of Agriculture
Faculty of Engineering
Institute of Agricultural Machinery**

Mg.sc.ing. Ansis Saliņš

**LOPBARĪBAS IZDALES PĒTĪJUMI, LIETOJOT GOVJU
ROBOTIZĒTO SLAUKŠANU**

**THE RESEARCH OF FEED PORTIONING USING ROBOTISED
MILKING OF COWS**

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS

Dr.sc.ing. zinātniskā grāda iegūšanai

PROMOTION PAPER SUMMARY

For acquiring the scientific degree Dr.sc.ing.



EIROPAS SAVIENĪBA

IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ

Promocijas darba izstrāde un noformēšana līdzfinansēta
no Eiropas Savienības Sociālā fonda

Jelgava
2014

Darbs izpildīts Latvijas Lauksaimniecības universitātes Tehniskās fakultātes Lauksaimniecības tehnikas institūtā.

Darba zinātniskais vadītājs: profesors, Dr.sc.ing. Juris Priekulis.

Darba konsultants: vadošais pētnieks, Dr.sc.ing. Aivars Āboltiņš.

Oficiālie recenzenti:

Dr.sc.ing. Arvo Leola – Igaunijas Dabaszinātņu universitātes asoc.profesors.

Dr.sc.ing. Dainis Viesturs – LLU aģentūras „Lauksaimniecības tehnikas zinātniskais institūts” vadošais pētnieks.

Dr.sc.ing. Imants Ziemelis – LLU profesors.

Promocijas darba aizstāvēšana notiks Latvijas Lauksaimniecības universitātes lauksaimniecības nozares Inženierzinātņu apakšnozares promocijas padomes atklātā sēdē 2014. gada plkst., Jelgavā, J. Čakstes bulv. 5, Tehniskajā fakultātē, 429. auditorijā.

Ar promocijas darbu, pielikumu un kopsavilkumu var iepazīties Latvijas Lauksaimniecības universitātes fundamentālajā bibliotēkā, Jelgavā, Lielā ielā 2.

Atsauksmes sūtīt promocijas padomes sekretāram, prof., Dr.sc.ing. Imantam Ziemelim, LLU, Tehniskā fakultāte, J. Čakstes bulv. 5, Jelgava, LV-3001.

Padomes priekšsēdētājs: prof., Dr.sc.ing. Juris Priekulis.

The research is carried out at the Latvia University of Agriculture, Institute of Agriculture Machinery of the Faculty of Engineering.

The scientific advisor of the research: professor, Dr.sc.ing. Juris Priekulis

Consultant: leading researcher, Dr.sc.ing. Aivars Āboltiņš

The official reviewers:

Dr.sc.ing. Arvo Leola – Associate Professor of Estonian University of Life Sciences.

Dr.sc.ing. Dainis Viesturs – Leading researcher of the Agency of LUA „Research Institute of Agriculture Machinery”.

Dr.sc.ing. Imants Ziemelis – Professor of Latvia University of Agriculture.

The promotion paper will be defended in an open meeting of the Promotion Council of the sub-branch of Engineering Sciences of the branch of Agriculture, at the Latvia University of Agriculture on ...th ..., 2014 at ... a.m. Venue – Jelgava, 5 J. Čakstes Blvd., Faculty of Engineering, room 429.

The promotion paper, the annex and summary are available at the Fundamental library of the Latvia University of Agriculture located at 2 Lielā street, Jelgava.

References should be sent to the secretary of the Promotion Council, professor, Dr.sc.ing. Imants Ziemelis. Address – Faculty of Engineering, Latvia University of Agriculture, 5 J. Čakstes Blvd., Jelgava, LV-3001.

Head of the Council: professor, Dr.sc.ing. Juris Priekulis.

SATURS

Darba aktualitāte	4
Pētījumu objekts, hipotēze, mērķis un uzdevumi	5
Promocijas darba aprobācija	7
1. Teorētiskie pētījumi.....	10
1.1. Spēkbarības daudzums un sadalījums pa ēdināšanas vietām	10
1.2. Spēkbarības izdales līnijas pētījumi	12
1.3. Spirāltransportieru darba ražīgums.....	14
1.4. Gliemežtransportiera darba ražīgums.....	16
1.5. Transportieru ražīguma koeficienta salīdzinājums, strādājot gliemežtransportiera un spirāltransportiera darbības režimos	18
1.6. Transportiera piedziņas griezes momenta noteikšana.....	19
1.7. Spirāltransportiera automātiskas darbības nodrošināšana	20
2. Spēkbarības izdales eksperimentālie pētījumi	22
2.1. Spēkbarības transportieru pētījumi laboratorijas apstākļos	22
2.2. Transportiera griezes momenta pētījumi.....	24
2.3. Transportiera darba ražīguma pētījumi	25
2.4. Spēkbarības transportieru pētījumi ekspluatācijas apstākļos.....	26
3. Lopbarības maisījumu sagatavošanas un izdales pētījumi	28
4. Lopbarības izdales tehnoloģiju ekonomiskais novērtējums	29
Secinājumi.....	33

CONTENT

Research topicality	35
Research object, hypothesis, aim and objectives.....	36
Approbation of dissertation	38
1. Theoretical studies.....	41
The amount of fodder fed and its distribution by feeding places	41
1.2. Fodder distribution line studies	43
1.3. Spiral transporter work productivity	43
1.4. Worm transporter work productivity.....	44
1.5. The comparison of the transporter productivity coefficient working in worm transporter and spiral transporter operation modes	45
1.6. Determining torsional moment of transporter drive	46
1.7. Ensuring spiral transporters automatic operation,	47
2. Experimental studies on fodder distribution.....	48
2.1. Fodder transporters experimental studies in laboratory circumstances....	48
2.2. Transporter torsional moment studies	49
2.3. Transporter work productivity studies	50
2.4. Fodder transporters experimental studies in operation circumstances ..	50
3. Feed mixtures preparation and distribution studies	51
4. Economical evaluation of feed distribution technology	52
Conclusions	54

DARBA AKTUALITĀTE

Piena lopkopībā strauji izplatās govju slaukšanas robotu jeb automatizēto slaukšanas iekārtu (AMS) izmantošana, bet to ieviešana izmaina govju ēdināšanas norisi, jo barība tiek izsniegta vairākās vietās. Taču līdz šim nav pietiekoši izpētīts vēlamais barības sadalījums pa šīm ēdināšanas vietām, ne vienmēr tiek nodrošināta spēkbarības izēdināšanas līnijas bezatteikuma darbība, nav veikts lopbarības maisījuma sagatavošanas un izdales tehnoloģiju un tehnoloģisko iekārtu ekonomiskais izvērtējums.

Vadoties pēc promocijas darbā veiktajiem zinātnisko pētījumu apkopojumiem un to analītiskiem vērtējumiem, iespējams secināt, ka līdz šim ir realizēti plaši pētījumi par barības devu plānošanu, lopbarības sagatavošanu, kā arī govju ēdināšanas metožu novērtēšanu, bet daudz mazāk pētīta precīzās tehnoloģijas izmantošana govju ēdināšanā, to saistot ar govju robotizēto slaukšanu un kombinētās spēkbarības izdales iekārtu racionālu izmantošanu.

Govju robotizētās slaukšanas tehnoloģijas ieviešana ir viens no lielākiem izaicinājumiem precīzajā piena lopkopībā. Taču pagaidām, ieviešot šo jauno tehnoloģiju, nākas saskarties arī ar dažādām grūtībām.

Tā, piemēram, LLU mācību un pētījumu saimniecības Vecauce piena ražošanas fermā „Līgotnes” pēc robotizētās slaukšanas sistēmas (AMS) ieviešanas atklājās vairākas kombinētās spēkbarības izēdināšanas problēmas: barības nosprūšana transportierī, līnijas automātiskās darbības atteikumi, u.c. Tas mazināja AMS izmantošanas efektivitāti, jo robotizētās slaukšanas gadījumā spēkbarības izēdināšana nodrošina govīs ne tikai ar nepieciešamām barības vielām, bet kalpo arī kā stimulators slaukšanas stendu biežākai apmeklēšanai.

Tādēļ promocijas darbā ir liela vērtība pievērsta spēkbarības līnijas darbības izpētei, jo tā nodrošina kombinētās spēkbarības piegādi līdz izēdināšanas vietām un tās izdali dzīvniekiem.

Liela nozīme ir arī pamatbarības maisījuma racionālai sagatavošanai un izdarei, jo tajā mēdz iekļaut ne tikai zālaugu lopbarību un dažādas piedevas, bet arī nelielu spēkbarības daudzumu, kas uzlabo šī maisījuma garšu un apēdamību. Taču tas var samazināt robotizēto slaukšanas stendu apmeklējumu. Tādēļ ir lietderīgi noskaidrot spēkbarības iekļaušanas nepieciešamību maisījuma sastāvā, kā arī ekonomiski izdevīgākos maisījuma sagatavošanas un izdales variantus.

Pašlaik Latvijā ir ieviesti, galvenokārt, firmas *Delaval* ražotie govju slaukšanas roboti, kuri ieguvuši atzinīgu novērtējumu. Tādēļ šis promocijas darbs ir saistīts ar lopbarības izdales tehnoloģiju un tehnisko risinājumu izpēti slaucamo govju kūfīs, kurās izmanto šīs firmas ražotos slaukšanas robotus.

PĒTĪJUMU OBJEKTS, HIPOTĒZE, MĒRĶIS UN UZDEVUMI

Pētījumu objekts – piena ražošanas fermas, kurās ieviesta govju robotizētā slaukšana, lietojot firmas *Delaval* piedāvātos robotus VMS.

Pētījumu hipotēze – slaucamo govju fermās, kurās ieviesta robotizētā slaukšana, var uzlabot lopbarības izdali, izvēloties konkrētajiem apstākļiem piemērotākos tehnoloģiskos risinājumus un nodrošinot spēkbarības izdales līnijas bezatteikuma darbību.

Darba mērķis – noskaidrot racionālākos lopbarības izdales tehnoloģiskos un tehniskos risinājumus piena ražošanas fermām, kurās izmanto govju robotizēto slaukšanu.

Darba uzdevumi.

1. Izvērtēt robotizētā slaukšanā izmantoto govju ēdināšanas tehnoloģisko sistēmu, kurai raksturīga spēkbarības izēdināšana trīs dažādās vietās: pie barības galda (to iekļaujot lopbarības maisījuma sastāvā), robotizētajos slaukšanas standos un spēkbarības izēdināšanas stacijās.
2. Izstrādāt teorētisko pamatojumu un konstruktīvo risinājumu pilnveidotam kombinētās spēkbarības transportierim, kas uzlabo spēkbarības izdales tehnoloģiskās līnijas darbību ekspluatācijas apstākļos.
3. Veikt kombinētās spēkbarības izdales tehnoloģiskās līnijas pētījumus pie nevienmērīga spēkbarības patēriņa atsevišķās tās izdales vietās.
4. Izstrādāt lopbarības izdales tehnoloģisko risinājumu salīdzināšanas un ekonomiskās efektivitātes noteikšanas matemātisko modeli.
5. Noteikt lopbarības maisījuma sagatavošanas un izdales agregātu ekspluatācijas parametrus, kā arī veikt šo agregātu tehnoloģiski ekonomisko izvērtējumu.
6. Izstrādāt ieteikumus praksei par lopbarības izdales tehnoloģiju un tehnoloģisko iekārtu izvēli, ieviešanu un ekspluatāciju.

Pētījumu metodes

Darbā izmantotas analīzes, modelēšanas, prognozēšanas, eksperimentēšanas (laboratorijas apstākļos), statistiskās un ekonomiskās novērtēšanas pētījumu metodes.

Aizstāvēšanai izvirzītās tēzes

1. Turot augstražīgas govīs, ir nepieciešama spēkbarības izēdināšana ne tikai pie barības galda un robotizētajā slaukšanas standā, bet arī spēkbarības stacijās.
2. Spēkbarības transportēšanai no uzglabāšanas tīlpnes līdz stacionārām patēriņa vietām ir lietderīgi izmantot kombinētu spēkbarības transportieri,

kurš slīpajā posmā darbojas kā gliemežtransportieris, bet horizontālajā – kā spirāltransportieris.

3. Ja spēkbarības izēdināšanas stacijās ir nevienmērīgs barības patēriņš, tad iespējami spēkbarības piegādes pārtraukumi atsevišķām stacijām, kurus var novērst ar atbilstošu spēkbarības izdales līnijas montāžu.
4. Slaucamo govju fermai piemērotākā lopbarības maisījuma sagatavošanas un izdales tehnoloģija ir atkarīga no tajā esošā ganāmpulka lieluma.

Darba zinātniskā novitāte un praktiskās izmantošanas iespējas

1. Izstrādāts teorētiskais pamatojums un konstruktīvais risinājums pilnveidotam spēkbarības transportierim (LV patents Nr.14605. Spēkbarības izdales līnija ar spirāltransportieri).
2. Pierādīta spēkbarības staciju izmantošanas nepieciešamība piena ražošanas fermās, kurās tiek turētas augstražīgas govīs un ir ieviesta firmas *Delaval* piedāvātā govju robotizētā slaukšanas sistēma.
3. Izstrādāts ekonomiskā izdevīguma novērtēšanas matemātiskais modelis raksturīgākām lopbarības maisījuma sagatavošanas un izdales tehnoloģijām, kā arī veikts šo tehnoloģiju savstarpējais salīdzinājums.
4. Izstrādāti ieteikumi praksei, kas jāievēro, ieviešot govju robotizētu slaukšanu, kā arī ieviešot spēkbarības izēdināšanas stacijas:
 - lietojot govju robotizēto slaukšanu, ir būtiski nodrošināt spēkbarības izdales līnijas bezattekuma darbību. Ja konkrētajā situācijā spēkbarības spirāltransportiera montāžas slīpums pārsniedz 30° , tad šajā slīpajā posmā spirāltransportiera spirālē ir jāievieto elastīga plastmasas caurule, kura aizpilda spirāles centrālo daļu. Tas novērs lopbarības atpakaļatbiršanas iespējas un kritiskās situācijās uzlabo transportiera darba ražīgumu;
 - ja pēdējā spēkbarības izēdināšanas stacijā, pie kuras piestiprināti barības augšējā un apakšējā līmeņa sensori, ir mazāks spēkbarības patēriņš nekā citās stacijās, tad, iespējami transportiera ieslēgšanas automātiskas darbības traucējumi. Lai tos novērstu, izmantojami sekojoši risinājumi:
 - attāluma samazināšana starp transportiera ieslēgšanas un izslēgšanas sensoriem;
 - visvairāk noslogoto spēkbarības staciju uzkrāšanas tilpņu ietilpību palielināšana;
 - līnijas pārmontēšana, lai tās pēdējā stacijā būtu viens no lielākajiem spēkbarības patēriņiem.
 - attālumam starp spēkbarības līnijas pēdējo un priekšpēdējo staciju jābūt tik lielam, lai spēkbarības daudzums, kurš uzkrājas šajā spirāltransportiera posmā, nepārsniegtu starpsensoru daļas ietilpību pēdējās spēkbarības izdales stacijas barības uzkrāšanas tvertnē, citādi tiek traucēta spēkbarības transportiera automātiskas darbība;

- ja ganāmpulka lielums ir robežās no 100 līdz 375 govīm, tad barības sagatavošanai un izdalei ir vēlams izmantot traktora agregātu, kura ietilpst traktora priekšdaļā piemontēts greifera tipa iekrāvējs, bet aizmugurējēpiekabināts maisītājs izdalītājs. Iekraujot tranšējā konservēto zālaugu lopbarību, traktoru atkabina no maisītāja izdalītāja. Ja ganāmpulka lielums pārsniedz 375 govīs, tad barības maisījuma sagatavošanai un izdalei lietderīgi izmantot pašgājēja tipa mobilo maisītāju izdalītāju.

PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA

Publikācijas vispāratzītos recenzējamajos izdevumos

1. Saliņš A., Freimanis J., Priekulis J. Preparation and distribution of mix using mobile machinery. **In:** *Proceedings of the 10th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava: LLU, 2011. – p. 59.- 64., ISSN 1691-3043.
2. Laurs A., Priekulis J., Zujs V., Saliņš A. Milking frequency in milking robots with feed first cow traffic. **In:** *Proceedings of the 7th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava: LLU, 2008. – p. 275.- 278., ISBN 1691-3043.
3. Latvietis J., Priekulis J. Saliņš A. Рациональная система раздачи кормов в коровнике с применением доильных роботов. **In:** *Materialy na XIV Miedzynarodnowa Konferencja Naukowa "Problemy intensyfikacji produkcji zwierzeczej z uwzględnieniem ochrony środowiska i standardov UE"*. Warszawa: ITP, 2008. - p. 150.- 154., ISBN 978-83-86264-71-1.
4. Saliņš A., Priekulis J. Research in mixed feed distribution line on Latvia University of Agriculture training and research milk farm. **In:** *Proceedings of the 8th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava: LLU, 2009. – p. 32.- 37., ISSN 1691-3043.
5. Priekulis J., Laurs A., Saliņš A. Исследование технологической линии транспортировки комбикорма до мест кормления. **In:** *Materialy na XV Miedzynarodnowa Konferencja Naukowa "Problemy intensyfikacji produkcji zwierzeczej z uwzględnieniem ochrony środowiska i standardov UE"*. Warszawa: ITP, 2009- p. 129.- 133., ISBN 978-83-89806-30-7.
6. Salins A., Priekulis J. Working efficiency of spiral conveyor in transportation of mixed feed. **In:** *Proceedings of the 9th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava: LLU, 2010. – p. 117.-123, ISSN 1691-3043.
7. Saliņš A., Freimanis M., Truhanovs R., Priekulis J. The most efficient solutions of forage distribution on modern dairy cow farms. **In:** *Agronomy*

Research, Biosystem Engineering Special Issue 1, Tartu: EAU, 2012, p. 219 – 226., ISSN 1406-894X.

8. Saliņš A., Vicinskis A., Priekulis J. Pomiar momentu obrotowego przenośnika spiralnego w czasie transportu paszy granulowanej. **In:** *Materiały na XVII Międzynarodowej Konferencji Naukowej "Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska I standardów UE"* Warszawa: ITP, 2011. - p. 189. – 194., ISBN 978-83-62416-20-2.
9. Freimanis M., Saliņš A., Priekulis J. Economic evaluation of animal feed mix distribution Technologies. **In:** *Proceedings of the 11th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava: LLU, 2012. – p. 108 – 111., ISSN 1691-3043.
10. Latvietis J., Priekulis J., Salins A. Solutions of concentrated feed consumption by cows in conditions of robotised milking. **In:** *Proceedings of the 12th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava: LLU, 2013.– p. 213.-216., ISSN 1691-5976.
11. Salins A., Aboltins A., Freimanis M. Improvement of concentrated feed conveyer operation efficiency. **In:** *Proceedings of the 12th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava: LLU, 2013. – p. 208. – 212. ISSN 1691-5976.
12. Приекулис Ю.К., Салиньш А.Д. Исследование особенностей применения спиральных транспортёров для раздачи комбикорма. **In:** *Материалы 7-й международной научно – практической конференции „Экология и сельскохозяйственная техника”*. Санкт-Петербург 2011. – p. 87. - 91., ISBN 978-5-88890-069-7.
13. Латvietis Я.Я., Приекулис Ю.К., Салиньш А.Д. Проблемы обеспечения коров концентрированным кормом при внедрении беспривязного содержания и роботизированного доения./ **In:** *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. Сборник научных трудов. Выпуск 16-ий в двух частях. Часть 1.* Горки: Белорусская Государственная Сельскохозяйственная академия, 2013. -184.-196.с., ISSN 2079-6668.

Pārējās publikācijas

1. Priekulis J., Saliņš A., Laurs A., Vicinskis A. Spēkbarības izdales līnija ar spirāltransportieri. **In:** *Izgdrojuma patenta publikācija*. //Patenti un preču zīmes. 11/2012.-1525.lpp.
2. Priekulis J., Saliņš A. Robotizētā barības izdāle govju kūtīs. // *AgroTops*, 2011.g. aprīlis – 64.-66.lpp. un maijs – 59.-61.lpp.
3. Priekulis J., Latvietis J., Saliņš A. Spēkbarības izdāle govīm precīzās ēdināšanas sistēmā. // *AgroTops*, 2013.g. decembris – 50.-52.lpp.

Uzstāšanās starptautiskās zinātniskās konferencēs ar ziņojumiem

1. Laurs A., Priekulis J., Zujs V., Saliņš A. Milking frequency in milking robots with feed first cow traffic. *7th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 29-30, 2008.
2. Saliņš A., Priekulis J. Research in mixed feed distribution line on Latvia University of Agriculture training and research milk farm. *8th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 28-29, 2009.
3. Salins A., Priekulis J. Working efficiency of spiral conveyor in transportation of mixed feed. *9th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 27-28, 2010.
4. Saliņš A., Freimanis J., Priekulis J. Preparation and distribution of mix using mobile machinery. *10th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 26-27, 2011.
5. Priekulis J., Laurs A., Saliņš A. Исследование технологической линии транспортировки комбикорма до мест кормления. XV Miedzynarodowej Konferencji Naukowej “Problemy intensyfikacji produkcji zwierzecej z uwzględnieniem ochrony srodowiska I standardow UE”. Warszawa: ITP, Poland, September 22-23, 2009.
6. Saliņš A., Priekulis J. The torsional moment of spiral conveyor ran in transportation of granulated mixed feed. XVII Miedzynarodowej Konferencji Naukowej “Problemy intensyfikacji produkcji zwierzecej z uwzględnieniem ochrony srodowiska I standardow UE”. Warszawa: ITP, Poland, September 20-21, 2011.
7. Saliņš A., Freimanis M., Truhanovs R., Priekulis J. The most efficient solutions of forage distribution on modern dairy cow farms. *Internacional Scientific Conference „Biosystems Engeneering”*. Tartu: Estonian University of Life Sciences, Estonia, May 10-11, 2012.
8. Saliņš A. The research of mixed feed conveyor optimization. XVII Miedzynarodowej Konferencji Naukowej “Problemy intensyfikacji produkcji zwierzecej z uwzględnieniem ochrony srodowiska I standardow UE”. Warszawa: ITP, Poland, September 19-20, 2012.

Dalība ar promocijas darbu saistītos projektos

1. LZP projekts Nr.09.1463 „Tehnoloģisko sistēmu izpēte un izstrāde nākotnes slaucamo govju fermā” (2009.-2012.).
2. LLU zinātniskais projekts Nr.llu zp 07-60 „Govju slaukšanas robota ieviešanas pētījumi LLU mācību un pētījumu saimniecībā „Vecauce” (2007).

3. LLU zinātniskais projekts Nr.XP 131 „Govju slaukšanas robota ekspluatācijas pētījumi LLU mācību un pētījumu saimniecībā „Vecauce” (2008).

Saņemtais patents

1. Spēkbarības izdales līnija ar spirāltransportieri. Patents Nr.14605. Public.20.11.2012. Īpašnieks LLU. Izgudrotāji: J.Priekulis, A.Saliņš, A.Laurs, A.Vicinskis.

1. TEORĒTISKIE PĒTĪJUMI

Lai efektīvi risinātu problēmjautājumus, kuri saistīti ar lopbarības izdali, lietojot robotizēto slaukšanu, nepieciešami teorētiski pētījumi par vēlamo spēkbarības izēdināšanas vietu daudzumu un veidu, kā arī spēkbarības izdales līnijas darbību.

1.1. Govij izēdināmās spēkbarības daudzums un tā sadalījums pa atsevišķām ēdināšanas vietām

Lietojojot govju robotizēto slaukšanu, spēkbarību var izēdināta trīs vietās: lopbarības maisījuma sastāvā, kuru izsniedz pie barības galda, robotizētajos govju slaukšanas stendos (AMS) un spēkbarības izēdināšanas stacijās. Spēkbarības izdali vada govju ganāmpulka menedžmenta sistēma (1.1.att.), izmantojot datus, kuri raksturo izēdināmos barības līdzekļus, govju ganāmpulku un barības maisījuma sastāvā iekļauto spēkbarības daudzumu. Šī sistēma izskaitļo katrai govij diennaktī nepieciešamo kopējo spēkbarības daudzumu, kā arī vada tās izsniegšanu govju slaukšanas stendos un spēkbarības izēdināšanas stacijās.

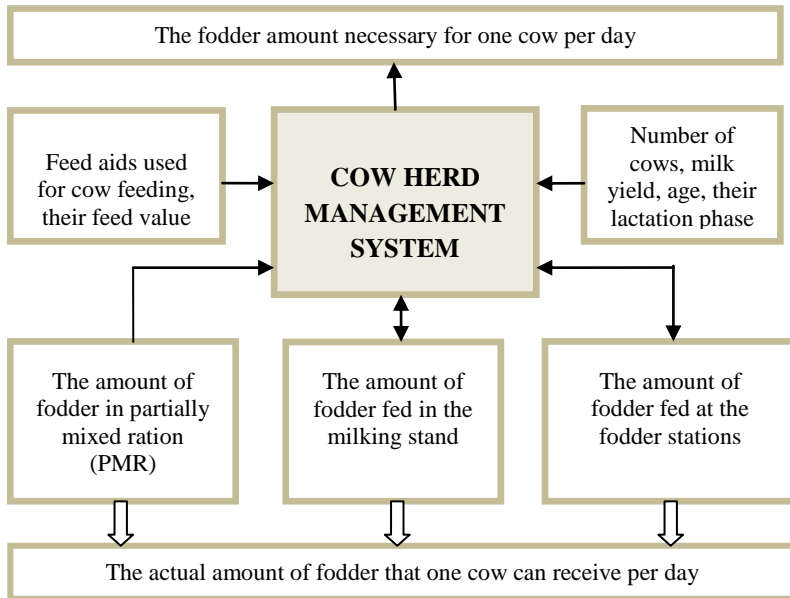
Kopējais spēkbarības daudzums, kuru viena govys var saņemt, izmantojot AMS, ir

$$Q_{dn} = Q_{dn.m} + Q_{dn.s} + Q_{dn.r}, \quad (1.1)$$

- kur
- Q_{dn} – kopējais govij izēdinātais spēkbarības daudzums, kg diennaktī⁻¹;
 - $Q_{dn.m}$ – barības maisījumā ietvertais spēkbarības daudzums, kuru govys apēd pie barības galda, kg diennaktī⁻¹;
 - $Q_{dn.s}$ – spēkbarības izēdināšanas stacijās izsniegtais spēkbarības daudzums vienai govij, kg diennaktī⁻¹;
 - $Q_{dn.r}$ – robotizētā slaukšanas stendā izēdinātais spēkbarības daudzums vienai govij, kg diennaktī⁻¹.

Taču debatējams ir jautājums par spēkbarības staciju izmantošanu, jo praksē tās bieži nelieto, bet visu govīm nepieciešamo spēkbarības daudzumu

izēdina slaukšanas laikā un pie barības galda. Tādēļ tika skaidrots spēkbarības daudzums, kuru govys saņem pie barības galda un spēkbarības izēdināšanas stacijās



1.1.att. Govīm izēdināmā spēkbarības daudzuma aprēķināšanas un izdales shēma, izmantojot ganāmpulka menedžmenta sistēmu

Fig. 1.1. The scheme of calculating the amount of fodder fed to cows and its distribution, using herd management system

$$Q_{dn.m} = \lambda_s \cdot Q_m \quad (1.2)$$

kur λ_s – spēkbarības piejaukuma koeficients barības maisījumam;
 Q_m – vienas govys apēstais barības maisījuma daudzums, kg diennaktī¹.

Savukārt maksimālais spēkbarības daudzums, kuru govys var saņemt robotizētā slaukšanas stendā, ir atkarīgs no govys uzturēšanās ilguma šajā stendā un spēkbarības apēšanas ātruma:

$$Q_{dn.r} = v_s \cdot n_s \cdot t_s \quad (1.3)$$

kur v_s – govys vidējais spēkbarības ēšanas ātrums, kg min⁻¹;
 n_s – slaukšanas reižu skaits diennaktī
 t_s – vienas slaukšanas reizes vidējais ilgums, min.

Tādēļ spēkbarības stacijas ir vajadzīgas tādā gadījumā, ja

$$Q_{dn.o} + Q_{dn.p} > \lambda_s \cdot Q_m + v_s \cdot n_s \cdot t_s, \quad (1.4)$$

- kur $Q_{dn.o}$ – normatīvais spēkbarības daudzums, kurš attiecīgai govij būtu jāsaņem atbilstoši tās produktivitātei un fizioloģiskajam stāvoklim, kg dienn⁻¹;
- $Q_{dn.p}$ – papildus izēdināmā spēkbarības daudzuma daļa, kura pārnesta no iepriekšējā diennaktī neapēstās spēkbarības daudzuma, kg dienn⁻¹.

Izmantojot LLU mācību un pētījumu saimniecības Vecauce slaucamo govju fermas „Līgotnes” menedžmenta sistēmā uzkrātos datus par vienu mēnesi ilgu periodu un formulu (1.4), tika noskaidrots, ka spēkbarības izēdināšanas stacijas ir nepieciešamas, ja govju izslaukums pārsniedz 30 kg diennaktī.

Vienai govij stacijā izēdināmais spēkbarības daudzums

$$Q_{dn.s} = Q_{dn.o} + Q_{dn.p} - \lambda_s \cdot Q_m + v_s \cdot n_s \cdot t_s, \quad (1.5)$$

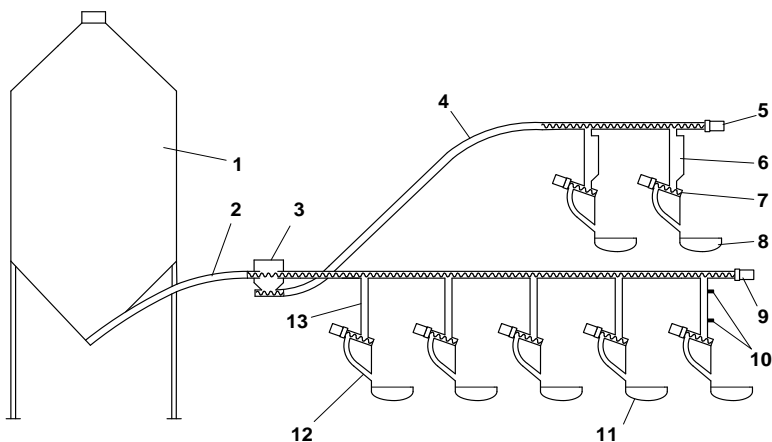
Bet fermā vajadzīgais barības staciju skaits

$$n_{st} > \frac{Q_{dn.s1} \cdot Z_{g1} + Q_{dn.s2} \cdot Z_{g2} + \dots + Q_{dn.sn} \cdot Z_{gn} + (Z_{g1} + Z_{g2} + \dots + Z_{gn}) \cdot (t_{ie} + t_{iz}) + t_{serv}}{24 \cdot q_{st}}, \quad (1.6)$$

- kur n_{st} – attiecīgajā fermā nepieciešamais barības izdales staciju skaits;
- $Z_{g1}; Z_{g2}; Z_{gn}$ – govju skaits attiecīgā pirmajā, otrajā un n -tajā izslaukuma grupā;
- $Q_{dn.s1}; Q_{dn.s2}; Q_{dn.sn}$ – stacijās izēdināmās spēkbarības deva attiecīgi pirmās, otrās un n -tās izslaukuma grupas govīm, kg (govi dienn.)⁻¹;
- q_{st} – spēkbarības izdales vidējais ražīgums vienā barības stacijā, kg h⁻¹;
- $t_{ie}; t_{iz}$ – laika patēriņš govīs ieiešanai un iziešanai no barības stacijas, h dienn⁻¹;
- t_{snv} – laika patēriņš spēkbarības stacijas apkopēm (servisa laiks), h dienn⁻¹.

1.2. Spēkbarības izdales līnijas pētījumi

Spēkbarības izdales līnija sastāv no spēkbarības uzglabāšanas tvertnes, transportieriem un barības izdales stacijām. Kā piemēru apskatīsim spēkbarības izdales līnijas shēmu LLU mācību un pētījumu saimniecības „Vecauce” slaucamo govju fermā „Līgotnes” (skat. 1.2. att.).



1.2. att. Spēkbarības izdales līnijas tehnoloģiskā shēma

1 - kombinētās spēkbarības uzglabāšanas tvertne; 2 - spēkbarības transportieris; 3 - barības plūsmas sadalītājs; 4 - papildus transportieris spēkbarības piegādei līdz robotizētajiem slaukšanas stendiem; 5, 9 - transportieru piedziņas elektromotori ar reduktoriem; 6, 13 - atsevišķās izēdināšanas vietās ierīkotās spēkbarības uzkrāšanas tīltnes; 7 - spēkbarības dozators; 8 - spēkbarības izsniegšanas vieta robotizētajos slaukšanas stendos; 10 - spēkbarības transportieru ieslēgšanas un izslēgšanas sensori; 11 - spēkbarības izēdināšanas sile; 12 - spēkbarības izdales stacija

Fig. 1.2. Technological scheme of the fodder distribution line

1 – mixed fodder storage container; 2 – fodder transporter; 3 – feed flow spreader; 4 – additional transporter for fodder delivery to the robotised milking stands; 5, 9 – electromotors of transporters drive with speed-reducers; 6, 13 – fodder storing containers set in separate feeding places; 7 – fodder dosimeter; 8 – fodder distribution place in robotised milking stands; 10 – switching on and switching off sensors of fodder transporters; 11 – fodder feeding trough; 12 – fodder distribution station

Veicot pētījumus ekspluatācijas apstākļos, tika konstatēts, ka šāda spēkbarības transportēšanas un izdales līnija nenodrošināja savlaicīgu visu spēkbarības uzkrāšanas tīlņu piepildi ar barību un nozīmīgākie spēkbarības piegādes atteikuma iemesli ir meklējami tās transportēšanas sistēmā.

Kā redzams no 1.2. attēla, spirāltransportieris 2 vispirms virza barību slīpi uz augšu, bet, sasniedzot vajadzīgo augstumu, to pārvieto horizontālā virzienā. Ja transportējamai barībai ir palielināts mitruma saturs, palielināta sadrumstalotība vai arī piemīt kādas citas fizikāli mehānisko īpašību novirzes, tad slīpajā posmā ir iespējama spirāltransportiera nosprūšana.

Lai uzlabotu spēkbarības transportēšanu pacēlumu vietās, esam izstrādājuši konstruktīvo risinājumu kombinētam spēkbarības transportierim (LV patents Nr.14605), kurš pacēluma vietās darbojas kā gliemežtransportieris, bet vietās, kur spēkbarība jātransportē horizontālā virzienā un likumos – kā spirāltransportieris.

Tādēļ tika pētīti galvenie faktori, kuri ietekmē spirāltransportiera darbaspējas atkarībā no tā novietojuma slīpuma leņķa.

1.3. Spirāltransportieru darba ražīgums

Tehniskajā literatūrā (Grigorjevs, 1972; Meļņikovs, 1978; Minkins, 2006; Uzklīņģis, 1995) norādīts, ka spirāltransportieru un gliemežtransportieru darba ražīgums ir atkarīgs no to konstruktīvajiem parametriem un pildījuma koeficienta, ražīguma koeficienta, kas ievērtē transportiera kravas pacelšanas leņķa ietekmi uz tā ražīgumu, turklāt

$$Q_{sp} = \frac{60\pi D^2}{4} \varphi \cdot s \cdot n \cdot \gamma_0 \cdot c_{sp}, \quad (1.7)$$

kur	Q_{sp}	– spirāltransportiera darba ražīgums, t h ⁻¹ ;
	D	– spirāles ārējais diametrs, m;
	s	– spirāles solis m;
	n	– darbīgās daļas griešanās ātrums, min ⁻¹ ;
	γ_0	– transportējamās masas blīvums, t m ⁻³ ;
	φ	– transportiera pildījuma koeficients. Šajā gadījumā φ tiek uzskatīts par attiecību starp materiāla aizpildīto vidējo laukumu transportiera caurulē un gliemeža normālas projekcijas laukumu.
	c_{sp}	– ražīguma koeficients, kas ievērtē transportiera kravas pacelšanas leņķa ietekmi uz tā ražīgumu.

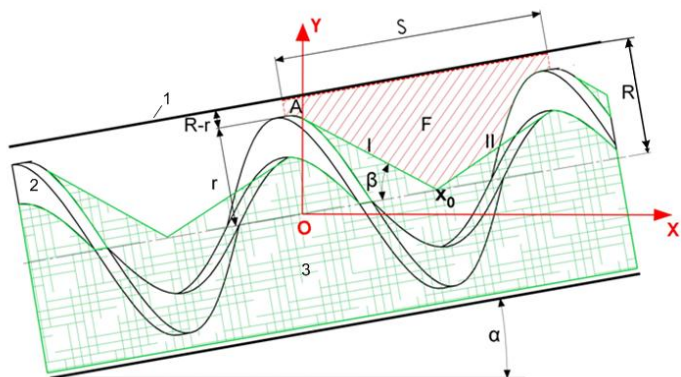
Taču, lai iegūtu precīzas ražīguma koeficienta vērtības, kas ievērtē transportiera kravas pacelšanas leņķa ietekmi uz tā ražīgumu, ir nepieciešami papildus aprēķini. Šim nolūkam tika izstrādātas teorētiskās likumsakarības koeficienta noteikšanai, kas ievērtē transportiera kravas pacelšanas leņķa ietekmi uz tā ražīgumu, ja spirāltransportieris atrodas horizontālā stāvoklī, kā arī tad, ja lopbarība tiek transportēta slīpi uz augšu.

Pēdējā gadījumā aprēķiniem izmanto noteikto integrāli, kas ievērtē transportierī nepiepildīto laukumu.

Spirāltransportiera darbības shēma, kura izmantota aprēķiniem, ir redzama 1.3.attēlā.

Lai aprēķinātu ražīguma koeficientu c , kas ievērtē transportiera kravas pacelšanas leņķa ietekmi uz tā ražīgumu, jāapskata 1.3. attēlā iezīmētais laukums F. No apakšas to ierobežo taisnes I un II, kuras attēlo lopbarības dabīgā nobiruma virsmas barības transportēšanas laikā, bet augšdaļā šo laukumu ierobežo transportiera apvalkcaurules iekšējā virsma.

Ar noteiktā integrāļa palīdzību nosakām ar spēkbarību neaizpildīto laukumu F starpsloja attālumā s.



1.3. att. Spirāltransportiera ražīguma koeficienta, kas ievērtē transportiera kravas pacelšanas leņķa ietekmi uz tā ražīgumu, aprēķina shēma, pieņemot, ka transportiera spirāle izvietota simetriski transportiera apvalkcaurulei

r – spirāles rādiuss, $R-r$ – attālums starp spirāles ārējo malu un apvalkcauruli, β – spēkbarības dabīgā nobiruma leņķis, α – kravas pacelšanas leņķis, s – transportiera spirāles solis, 1 – transportiera apvalkcaurule; 2 – transportiera spirāle; 3 – lopbarība.

Fig.1.3. Calculation scheme of spiral transporter productivity coefficient, which estimates the influence of the transporter load lifting angle on its productivity, accepting that transporter spiral is situated symmetrically to transporter casing pipe

r – spiral radius, $R-r$ – distance between spiral outside edge and casing pipe, β – fodder natural spillage angle, α – load lifting angle, s – transporter spiral step, 1 – transporter casing pipe; 2 – transporter spiral; 3 – fodder.

Pēc integrēšanas funkciju veikšanas iegūta sakarība, kas raksturo koeficientu, kas ievērtē transportiera kravas pacelšanas leņķa ietekmi uz tā ražīgumu.

$$c_{sp} = \frac{4R \cdot s \cdot ((R-r) + r)}{\frac{r \cdot (R-r)}{\text{ctg}(\beta - \alpha)} + \frac{(R-r)^2}{2\text{ctg}(\beta - \alpha)} + \frac{(R-r) \cdot \text{tg} \alpha}{\text{ctg} \beta}} \quad (1.8)$$

Lai aprēķinātu spirāltransportiera darba ražīgumu 1.8 formula, ir jāievieto darba ražīguma aprēķina pamatformulā.

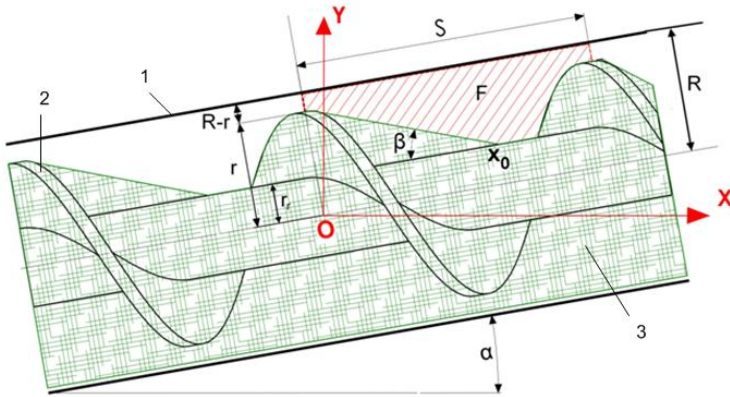
$$Q_{sp} = \frac{60\pi D^2}{4} \varphi \cdot s \cdot n \cdot \gamma_0 \cdot c_{sp} = 47D^2 \cdot \frac{4R \cdot s \cdot ((R-r) + r)}{\frac{r \cdot (R-r)}{\text{ctg}(\beta - \alpha)} + \frac{(R-r)^2}{2\text{ctg}(\beta - \alpha)} + \frac{(R-r) \cdot \text{tg} \alpha}{\text{ctg} \beta}} \cdot s \cdot n \cdot \gamma_0 \cdot \varphi, \quad (1.9)$$

Iegūta sakarība raksturo spirāltransportiera darba ražīgumu, atkarībā no tā novietojuma slīpuma vai kravas pacelšanas leņķa α .

1.4. Gliemežtransportiera darba ražīgums

Gliemežtransportierim, atšķirībā no spirāltransportiera, centrālo daļu aizņem vārpsta. Tādēļ šim transportierim darba laikā nenotiek būtiska lopbarības atpakaļatbiršana (Minkins, 2006), un šis faktors uzlabo barības transportēšanu. Taču transportiera lietderīgo tilpumu negatīvi ietekmē gliemeža vārpsta, kura aizņem daļu no apvalkcaurules iekšējā šķērsriezuma laukuma un papildus samazina transportiera pildījumu

Gliemežtransportiera darbības shēma, kura izmantota aprēķiniem, ir redzama 1.4. attēlā.



1.4. att. Gliemežtransportiera ražīguma koeficienta, kas ievērtē transportiera kravas pacelšanas leņķa ietekmi uz tā ražīgumu aprēķina shēma

r – spirāles rādiuss, $R-r$ – attālums starp spirāles ārējo malu un apvalkcauruli, R – apvalkcaurules iekšpuses rādiuss, r_r – gliemeža vārpstas rādiuss, β – spēkbarības dabīgā nobiruma leņķis, α – kravas pacelšanas leņķis, s – gliemeža vijuma solis, 1 – transportiera apvalkcaurule; 2 – transportiera spirāle; 3 – spēkbarība.

Fig. 1.4. The calculation scheme of the worm transporter productivity coefficient, which estimates the influence of the transporter load lifting angle on its productivity

r – spiral radius, $R-r$ – distance between spiral outside edge and casing pipe, R – casing pipe inner radius, r_r – screw shaft radius, β – fodder natural spillage angle, α – load lifting angle, s – screw twine step, 1 – transporter casing pipe; 2 – transporter spiral; 3 – fodder.

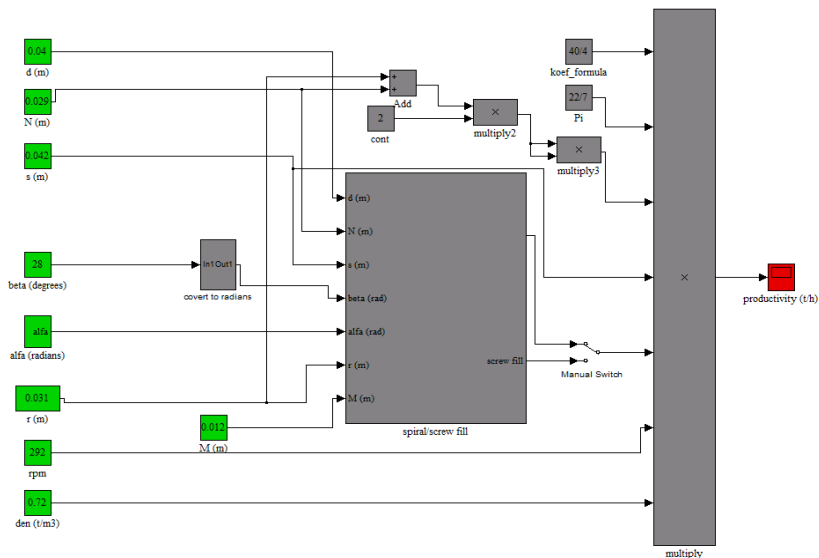
Rīkojoties līdzīgi kā iepriekšējā gadījumā, tiek iegūts, ka gliemežtransportiera ražīguma koeficients, kas ievērtē transportiera kravas pacelšanas leņķa ietekmi uz tā ražīgumu

$$c_{gl} = \frac{8r \cdot s^2 \cdot R}{s \cdot (2r) - \frac{r^2}{\operatorname{ctg}(\beta - \alpha)} + \frac{d \cdot r}{\operatorname{ctg}(\beta - \alpha)} - \frac{d \cdot s}{2}} \quad (1.10)$$

Lai aprēķinātu gliemežtransportiera darba ražīgumu, formula 1.9 ir jāievieto darba ražīguma aprēķina pamatformulā

$$Q_{gl} = \frac{60\pi D^2}{4} \varphi \cdot s \cdot n \cdot \gamma_0 \cdot c_{gl} = 47D^2 \cdot \frac{8r \cdot s^2 \cdot R}{s \cdot (2r) - \frac{r^2}{\text{ctg}(\beta - \alpha)} + \frac{d \cdot r}{\text{ctg}(\beta - \alpha)} - \frac{d \cdot s}{2}} \cdot s \cdot n \cdot \gamma_0 \cdot \varphi. \quad (1.11)$$

Iegūtā sakarība raksturo gliemežtransportiera darba ražīgumu, atkarībā no kravas pacelšanas leņķa α .



1.5. att. Spirāltransportiera ražīguma koeficienta, kas ievērtē transportiera kravas pacelšanas leņķa ietekmi uz tā ražīgumu noteikšanas matemātiskais modelis *Matlab Simulink* vidē

Ar zaļo krāsu apzīmēti izejas dati, ar pelēku – aprēķinu bloki un konstantes, ar sarkanu – aprēķinātie lielumi. Izejas dati ir sekojoši: slīpuma leņķis, dabiskā nobiruma leņķis, spirāles solis, spirāles ārējais rāduss, atstarpe starp spirāles malu un apvalkcaurules malu.

Fig. 1.5. *Matlab Simulink* environment mathematical model for determining the spiral transporter productivity coefficient, which estimates the influence of the transporter load lifting angle on its productivity

Output data are marked with the green colour, calculation blocks and constants – with the grey colour, calculated values – with the red colour. The output data are as follows: incline angle, natural spillage angle, spiral step, spiral outside radius, distance between the spiral edge and the edge of the casing pipe.

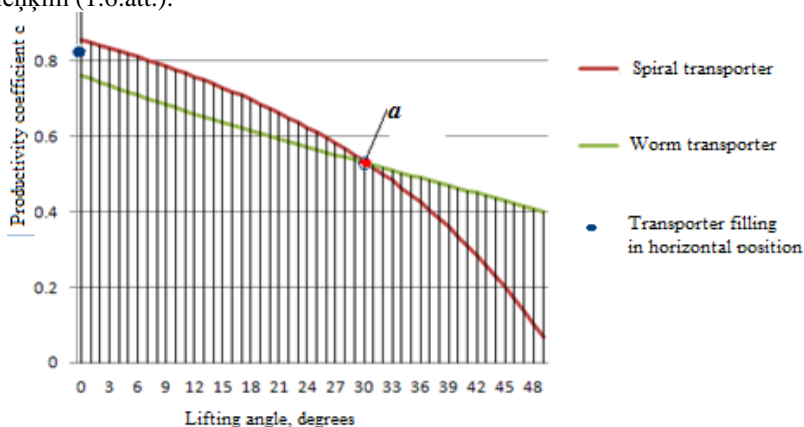
Lai veiktu spirāltransportiera un gliemežtransportiera ražīguma salīdzinošos aprēķinus pie attiecīga kravas pacēluma leņķa α , tika izmantots ar

datorprogrammu *Matlab Simulink* izveidots modelis. Šajā modelī izmantotas iepriekš izstrādātās transportiera koeficienta, kas ievērtē transportiera kravas pacelšanas leņķa ietekmi uz tā ražīgumu, formulas 1.8 un 1.10, kā arī transportieru darba ražīguma formulas.

Papildus izstrādāts matemātiskais modelis, ar kura palīdzību aprēķināms transportiera ražīguma koeficients, kas ievērtē transportiera kravas pacelšanas leņķa ietekmi uz tā ražīgumu, atkarībā no tā novietojuma slīpuma leņķa (1.5. att.).

1.5. Transportieru ražīguma koeficienta salīdzinājums, strādājot gliemežtransportiera un spirāltransportiera darbības režīmos

Lai novērtētu teorētisko pētījumu rezultātus, tika salīdzināti spēkbarības transportēšanas risinājumi, mainoties transportiera slīpuma (kravas pacelšanas) leņķim (1.6.att.).



1.6.att. Teorētiski aprēķinātā transportieru ražīgum koeficienta izmaiņas dinamika, strādājot gliemežtransportiera un spirāltransportiera režīmā pie dažādiem transportiera novietojuma leņķiem

- a – gliemežtransportiera un spirāltransportiera ražīguma koeficientu vērtību krustpunkts

Fig. 1.6. The changing dynamics of theoretically calculated transporters productivity coefficient working in worm transporter and spiral transporter modes at different transporter placement angles

- a – crosspoint of the worm transporter and spiral transporter productivity coefficients values

Šim nolūkam izmantots gan vienkāršotais aprēķins (kad transportieris atrodas horizontālā stāvoklī), gan izteiksmes, kuras iegūtas ar integrēšanas palīdzību un derīgas pie dažādiem kravas pacelšanas leņķiem. Kā redzams no attēla, abas iepriekš apskatītās transportiera ražīguma aprēķina metodes dod aptuveni līdzīgus rezultātus, kas liecina par integrālās metodes un sastādīto

matemātisko modeļu pareizību. Turklāt var konstatēt, ka pie kravas pacēluma leņķa mazāka par 30°, labāks ražīguma koeficients ir spirāltransportierim, bet, ja šis leņķis ir lielāks par 30°, tad labāks ražīguma koeficients ir gliemežtransportierim.

1.6. Transportiera piedziņas griezes momenta noteikšana

Komplektējot spēkbarības pievades transportieri, būtiska nozīme ir pareizai piedziņas elektromotora izvēlei, atkarībā no transportiera darbināšanai nepieciešamās jaudas. To apliecina laboratorijas pētījumi, kuros skaidrota spirāltransportieru piedziņai nepieciešamā jauda atkarībā no šo transportieru montāžas īpatnībām (garuma, slīpuma leņķa, pagriezieniem utt.), un transportējamās lopbarības īpašībām (mitruma satura, sadrumstalotības utt.). Tādēļ katrā konkrētā gadījumā ir jāizmanto atbilstošas jaudas elektromotors, jo citādi tas tiek pārslogots vai arī rodas lieks elektroenerģijas patēriņš.

Ņemot vērā, ka spirāltransportieru un gliemežtransportieru piedziņai visbiežāk izmanto asinhronos elektromotorus ar konstantu rotācijas frekvenci un vienpakāpju reduktorus, tad transportiera piedziņas mainīgais faktors ir griezes moments, kuru A.Gegorjevs (Grigorjevs, 1972) rekomendē raksturot ar sekojošu sakarību

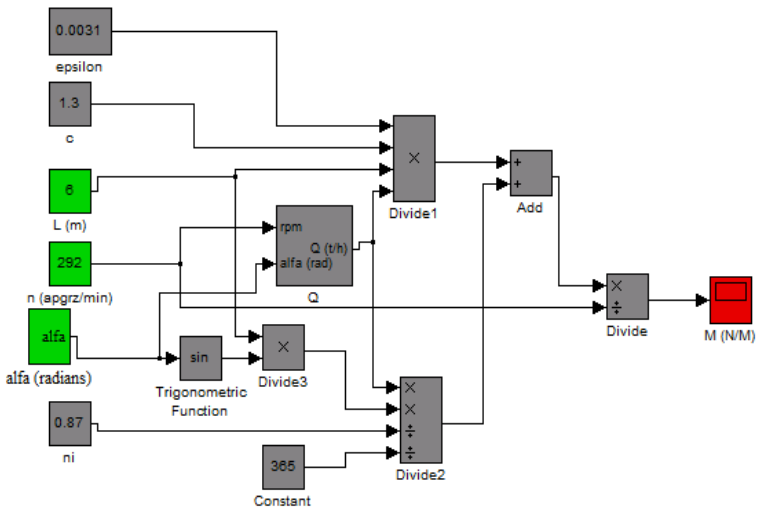
$$M = \frac{\varepsilon k Q L + \frac{QH}{367\eta}}{n}, \quad (1.12)$$

kur M - griezes moments.
 $k = 1,2 \div 1,4$ - koeficients, kas ievērtē tukšgaitas jaudu;

Ņemot vērā iepriekš iegūto spirāltransportiera ražīguma formulu (1.9), griezes momenta aprēķina formulu (1.12) var pārveidot sekojošā formā:

$$M = \frac{\varepsilon \cdot k \cdot 47 \cdot D^2 \cdot \alpha \cdot \frac{4 \cdot R \cdot s \cdot ((R-r)+r)}{r \cdot (R-r) + \frac{(R-r)^2}{2 \cdot \operatorname{ctg}(\beta-\alpha)} + \frac{(R-r) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{ctg} \beta}} \cdot s \cdot n \cdot \gamma_0 \cdot L + \frac{47 \cdot D^2 \cdot \alpha \cdot \frac{4 \cdot R \cdot s \cdot ((R-r)+r)}{r \cdot (R-r) + \frac{(R-r)^2}{2 \cdot \operatorname{ctg}(\beta-\alpha)} + \frac{(R-r) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{ctg} \beta}} \cdot s \cdot n \cdot \gamma_0 \cdot H}{367 \cdot \eta}}{n}, \quad (1.13)$$

Izmantojot iepriekš iegūto sakarību (1.13), kā arī *Matlab Simulink* datorprogrammu, tiek modelēta griezes momenta izmaiņa atkarība no transportiera slīpuma leņķa. Griezes momenta aprēķina blokshēma ir kā papildinājums iepriekš apskatītajai transportieru ražīguma aprēķina blokshēmai, kura redzama 1.5. attēlā.



1.7. att. Transportieru piedziņai nepieciešamā griezes momenta aprēķina blokhēma Matlab Simulink vidē

Zaļš – mainīgie izejas dati, pelēks – aprēķinu bloki un konstantes, Q – transportieru ražīgums pēc iepriekš aprēķinātās blokhēmas (skat. 1.5.attēlu), sarkans – griezes moments.

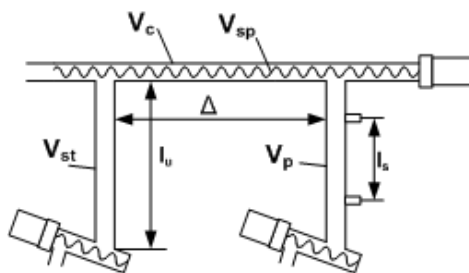
Fig. 1.7. Matlab Simulink environment calculation block scheme of torsional moment necessary for transporter drive

Green – variable output data, grey – calculation blocks and constants, Q – transporters productivity according to previously calculated block scheme (see Fig. 1.5), red – torsional moment.

1.7. Spirāltransportieru automātiskas darbības nodrošināšana, lietojot vairākas barības izēdināšanas stacijas

Veicot eksperimentālos pētījumus LLU mācību un pētījumu saimniecības Vecauce lielfermā *Līgoties*, tika konstatēts (Saliņš, Priekulis, 2009), ka spēkbarības piegādes traucējumi rodas ne tika transportieru nepareizas izvēles vai ekspluatācijas dēļ, bet arī tad, ja izmanto vairākas spēkbarības izdales stacijas, kurās ir nevienmērīgs spēkbarības patēriņš. Tas saistīts ar līnijas darbības īpatnībām spēkbarības staciju uzpildes laikā.

Spēkbarības daudzumu, kas uzkrājas un virzās pa tehnoloģiskās līnijas dažādām vietām, var aprēķināt pēc 1.8. attēlā dotās situācijas.



1.8.att. Spēkbarības piegādes līnijas aprēķina shēma

Fig. 1.8. Fodder delivery line calculation scheme

Ņemot vērā, ka transportierim strādājot automātiskā režīmā, barības uzkrāšanas caurule pēdējā dozatorā uzpildās par starpsensoru zonā esošo tilpumu, jābūt spēkā sakarībai

$$M_f < \frac{M_p}{\psi}, \quad (1.14)$$

- kur M_f – maksimāli iespējamais izsniegtās spēkbarības daudzums vienā no pirmajām barības stacijām (izņemot pēdējo), kg;
- M_p – spēkbarības daudzums, kas izsniegts pēdējā barības stacijā, kg.
- ψ – koeficients, kas ievērtē kādu daļu no barības uzkrāšanas caurules kopējā tilpuma aizņem tās tilpums starp abiem sensoriem;

Koeficients, kas ievērtē pie kāda spēkbarības stacijas tilpnes pildījuma notiek spirāltransportiera ieslēgšana

$$\sigma = \frac{l_{ss}}{l_u}, \quad (1.15)$$

- kur σ – koeficients, kas ievērtē spēkbarības stacijas tilpnes piepildes pakāpi, pie kuras notiek spirāltransportiera ieslēgšanās;
- l_{ss} – attālums starp transportiera ieslēgšanas un izslēgšanas sensoriem, mm.

Faktiski uzkrātais spēkbarības daudzums atsevišķās spēkbarības izēdināšanas stacijās, izņemot pēdējo, ir

$$m_{fp} = \frac{m_p}{\sigma}, \quad (1.16)$$

- kur m_{fp} – faktiski iespējamais spēkbarības daudzums, kg;
- m_p – faktiski patērētais un pievadītais spēkbarības daudzums pēdējā barības stacijā, kg.

Faktiski patērēto spēkbarības daudzumu pēdējā barības stacijā var noskaidrot, izmantojot AMS menedžmenta sistēmas ALPRO datorprogrammu.

Kļūdu, kas radusies kādā no spēkbarības stacijām var aprēķināt pēc formulas

$$\lambda = \frac{m_{izsn} - m_{fp}}{m_{fp}} \cdot 100 \quad (1.17)$$

kur m_{izsn} – lielākais izsniegtais spēkbarības daudzums, ko uzrāda dators kādā no spēkbarības izsniegšanas stacijām, kg.

Apskatot iepriekš izstrādātas sakarības, var secināt, ka spēkbarības transportiera bezatteikumu darbība būs nodrošināta, ja ievēros formulas (1.18) un (1.19)

$$(V_c - V_{sp}) \cdot \Delta < V_{st} \quad (1.18)$$

$$\frac{V_{st}}{V_p} < \frac{I_u}{I_s} \quad (1.19)$$

No formulas (1.19) seko, ka spēkbarības daudzumam, kas atrodas spirāltransportiera posmā starp pēdējo un priekšpēdējo barības staciju, ir jābūt mazākam par starpsensora daļas ietilpību pēdējās stacijas spēkbarības uzkrāšanas tilpnē.

2. SPĒKBARĪBAS IZDALES EKSPERIMENTĀLIE PĒTĪJUMI

Lai risinātu 1. nodaļā minētās problēmas, kuras saistītas ar spēkbarības izdales līnijas racionālu izmantošanu un bezatteikuma darbības nodrošināšanu, tika veikti eksperimentālie pētījumi, ietverot transportējamās spēkbarības fizikāli mehānisko īpašību pētījumus un spēkbarības izdales līnijas darbības pētījumus laboratorijas un ekspluatācijas apstākļos.

2.1. Spēkbarības transportieru pētījumi laboratorijas apstākļos

Šo pētījumus mērķis bija noskaidrot spēkbarības transportiera ražīgumu un piedziņas jaudu atkarībā no to novietojuma slīpuma (kravas pacelšanas leņķa), lai varētu salīdzināt teorētiskos un eksperimentālos pētījumu rezultātus un tādejādi pārliecināties par teorētisko izvedumu pareizību.

Pētījumiem izmantotais iekārtu komplekts bija sākotnēji paredzēts slaucamo govju precīzai ēdināšanai liellopu fermās, kurās lieto robotizēto slaukšanas iekārtu. Lai to pielāgotu laboratorijas pētījumiem, transportieris tika papildināts ar transformējamu atbalsta konstrukciju un dinamometrisko sensoru transportiera darba vārpstas griezes momenta reģistrēšanai ar datora palīdzību. Atbalsta konstrukcija nodrošināja transportiera ērtu pārmontēšanu vēlamā novietojuma slīpumā un tā papildināšanu ar likumotiem papildus posmiem.

Dinamometriskais sensors tika patstāvīgi konstruēts, veicot tā stiprības aprēķinu vērē. To izgatavoja vietējās darbnīcās, piestiprinot tenzorezistorus, griezes momenta noteikšanai (2.1. att.). Mērījumu reģistrēšanai izmantota datorprogrammu *PicoLog*.



2.1. att. Ar dinamometrisko sensoru aprīkots transportiera piedziņas vārpstas starpgabals, transportiera piedziņas mezgls samontētā veidā

Fig. 2.1. Transporter drive shaft intermediate section equipped with dynamometric sensor, assembled transporter drive component

Pētījumi notika LLU Tehniskās fakultātes Lauksaimniecības tehnikas institūta laboratorijās.

Eksperimentiem izmantoto transportieri bija iespējams darbināt gan spirāltransportiera, gan gliemežtransportiera režīmā, kā arī mainīt lopbarības pacelšanas leņķi un veidojot transportiera pagriezienu par 90° .



2.2.att. Laboratorijas pētījumu norise divās atsevišķās telpās ar atšķirīgu griestu augstumu

Fig. 2.2. The process of laboratory studies in two separate rooms with different ceiling height

2.2. Transportiera griezes momenta pētījumi

Eksperimentālie pētījumu rezultāti liecina, ka spirāltransportiera griezes moments nav konstants lielums. Ieslēgšanas brīdī transportiera griezes moments pieaug līdz pat 10–12 reizēm, jo ir jāpārvar ne tikai spirāles berzes spēki, bet arī inerces spēki. Taču šis periods ilgst tikai aptuveni 10 milisekundes. Pēc tam griezes moments nostabilizējas. Taču nelielas tā svārstības ir vērojamas arī pēc tam un tās ir saistītas ar spirāles elastīgām deformācijām. Savos turpmākajos pētījumos esam izmantojuši griezes momenta vidējās vērtības to nostabilizētajā posmā.

1.1. tabulā ir parādīta transportiera griezes momenta izmaiņas atkarībā no tā montāžas īpatnībām (novietojuma slīpuma un izliekuma), kā arī granulu īpašībām (diametra un mitruma satura).

Pēc šiem pētījumiem aprēķinātas spirāltransportiera griezes momentu ietekmējošo faktoru īpatnējās vērtības. Tādējādi transportiera griezes moments, lietojot granulas ar diametru 4 un 6 mm, ir aprēķināms pēc empīriskas izteiksmes

2.1. tabula

Spirāltransportiera griezes momenta palielinājumu ietekmējošie faktori, lietojot firmas *Delaval* ražoto spēkbarības spirāltransportieri ar apvalkcaurules iekšējo diametru 100 mm, $R^2=0.95$

Faktors	Apzīmējums	Mēra vienība	Lielums, ja granulu diametrs	
			4 mm	6 mm
Transportiera novietojuma slīpuma leņķis, grādi	k_α	Nm grādu ⁻¹	0.092±0.01	0.09±0.01
Pievienots 45° liels līkums	M_{45}	Nm	0.16±0.02	0.25±0.015
Granulu mitruma palielinājums virs 9%	k_w	Nm % ⁻¹	0.0169±0.0032	0.033±0.0035
Granulu sadrumstalojuma palielinājums, rēķinot uz 1m transportiera garumu	$k_{\delta m}$	% m ⁻¹	0.50	0.42
Granulu sadrumstalojuma ietekme uz spirāltransportiera griezes momentu	$k_{\delta\%}$	Nm % ⁻¹	0.196	0.182

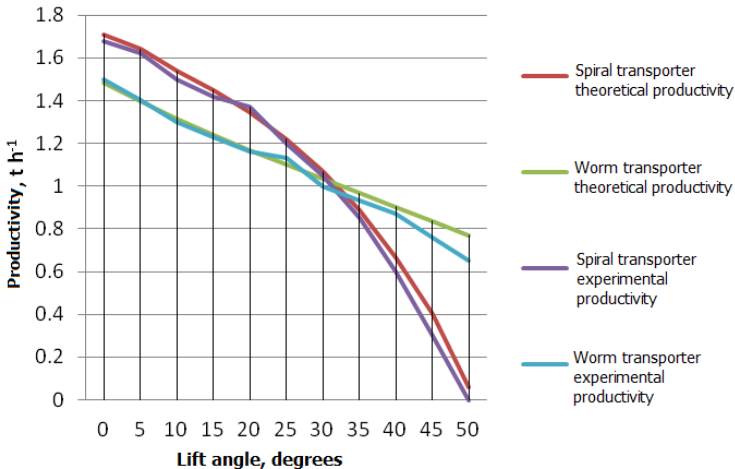
$$M_{\alpha} = M_0 + k_{\alpha} \cdot \alpha + k_w \cdot \Delta w + k_{\delta m} \cdot k_{\delta \%} \cdot l_{tr} + M_{45} \cdot n_{45}, \quad (2.1)$$

- kur
- M_{α} – aprēķinātais spirāltransportiera griezes moments, vadoties pēc konkrētās situācijas, Nm;
 - M_0 – horizontāli novietota un taisna (nelikumota) spirāltransportiera griezes moments, transportējot granulas, kuru mitrums nepārsniedz 9%, un kuru sadrumstalotība nepārsniedz 5.5%, Nm;
 - Δw – transportējamo granulu mitruma palielinājuma procents virs 9%;
 - l_{tr} – transportiera taisnās daļas garums, m;
 - n_{45} – transportierim pievienoto 45° līkumu skaits, gab.

Šie pētījumi liecina, ka spirāltransportiera griezes moments būs minimāls, ja govju ēdināšanai izmantos pēc iespējas sausākas granulas, kuru diametrs ir 6 mm (nevis 4 mm), turklāt transportieri vajadzētu pēc iespējas montēt bez līkumiem un lieliem pacēlumiem.

2.3. Transportiera darba ražīguma pētījumi

Pētījumu laikā tika noteiktas transportiera darba ražīguma izmaiņas atkarībā no tā novietojuma slīpuma.



2.4.att. Teorētiski aprēķinātais un eksperimentāli noteiktais transportieru darba ražīgums, strādājot gliemežtransportiera un spirāltransportiera režīmā, pie dažādiem transportiera novietojuma leņķiem

Fig. 2.4. Theoretically calculated and experimentally determined transporters work productivity, operating in a worm transporter and in a spiral transporter mode at different transporter placement angles

Konstatēts, ka teorētiski aprēķinātie un eksperimentāli iegūtie rezultāti spirāltransportierim sakrīt ar precizitāti 0.02 t h^{-1} , bet, gliemežtransportierim līdz 40 grādu pacēlumam, šie rezultāti ir līdzīgi, taču pie 50 grādu pacēluma veidojas kļūda 0.17 t h^{-1} .

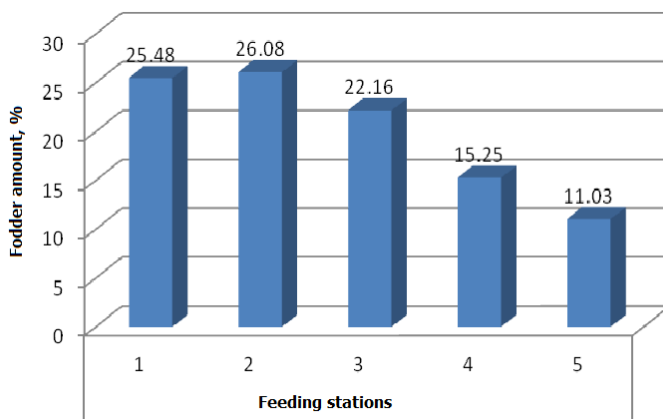
2.4. Spēkbarības transportieru eksperimentālie pētījumi ekspluatācijas apstākļos

Eksperimentālo pētījumu nolūks – noskaidrot spēkbarības izdales līnijas darbaspējas slaucamo govju fermās, kurās ieviesta govju robotizētā slaukšana.

Pētījumi veikti LLU mācību un pētījumu saimniecības *Vecauce* slaucamo govju fermā „Līgotnes”, kur atsevišķas govju grupas slaukšanai izmanto firmas DeLaval ražoto robotizēto slaukšanas iekārtu VMS.

Vispirms tika konstatēts, ka atsevišķu spēkbarības staciju noslogojums ir nevienmērīgs (2.6. att.), un vismazākais barības patēriņš ir pēdējā stacija (11.3% no kopējā daudzuma), pie kuras piestiprināti transportiera ieslēgšanas un izslēgšanas automātikas sensori.

Tādēļ tiek pieļautas situācijas, kad pirmās vai otrās barības staciju tilpnes var būt tukšas, t.i., bez spēkbarības, bet pēdējā stacija vēl ir piepildīta. Ja šādā situācijā govis apmeklē tukšās barības stacijas, tad dators padod šīm stacijām informāciju par barību izsniegšanu, bet faktiski tas nerealizējas.

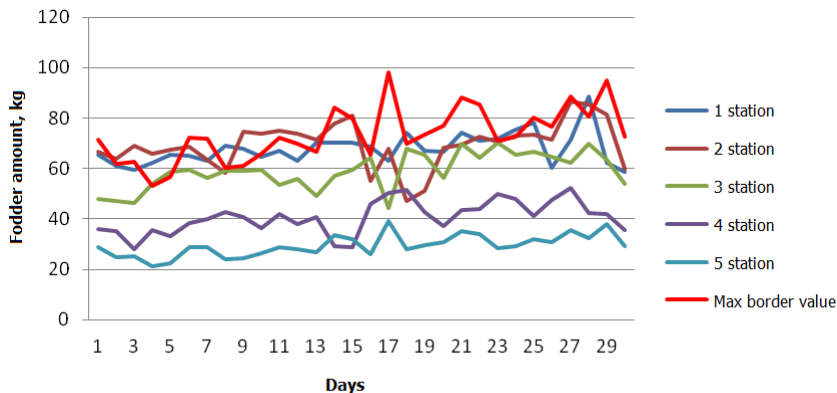


2.6.att. Spēkbarības izsniegtā daudzuma procentuālais sadalījums atsevišķās barības izēdināšanas stacijās

Fig. 2.6. Percentage of served fodder amount at separate fodder feeding stations

Vadoties pēc *VMS ALPRO* datorprogrammā uzkrāto datu apstrādes rezultātiem, tika noskaidrots piektajā stacijā faktiski izsniegtais barības daudzums, kā arī spēkbarības patēriņa kopējā aina.

Tādēļ, izmantojot ganāmpulka menedžmenta sistēmu un iepriekš iegūtās formulas (1.3 – 1.13), tika aprēķināts maksimāli iespējamais spēkbarības daudzums, kuru var attiecīgajā dienā pievadīt katrai no barības izsniegšanas stacijām.



2.7.att. Maksimāli iespējamais un datora uzrādītais kombinētās spēkbarības daudzums atsevišķās ēdināšanas stacijās

Fig. 2.7. Maximally possible and computer shown combined fodder amount at separate feeding stations

No 2.7. att. redzams, ka atsevišķās dienās spēkbarības patēriņš ēdināšanas stacijās pārsniedza attēlā parādīto maksimālo robežvērtību. Tādēļ šajās dienās attiecīgajās stacijās netika nodrošināts vajadzīgais spēkbarības daudzums, jo to nepietiekoši piegādāja padeves transportieris.

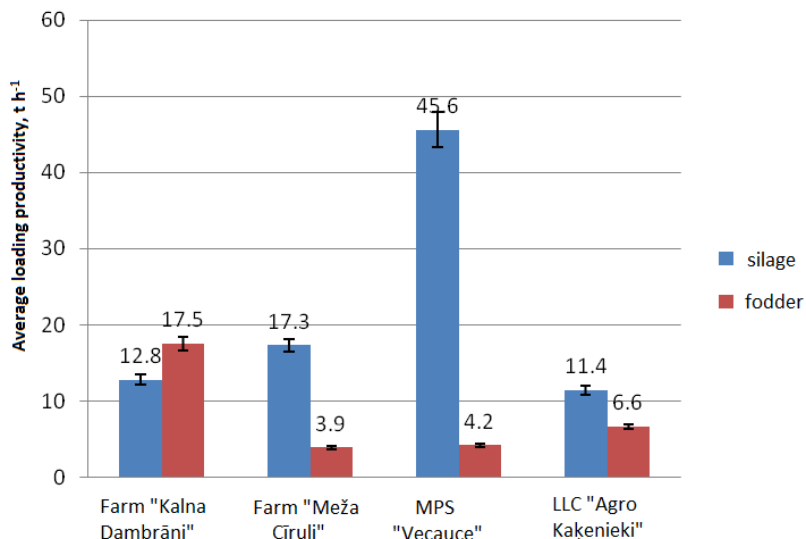
Veicot šo pētījumu detalizētāku analīzi, izmantojot 1.7.nodaļā doto matemātisko pamatojumu, var secināt, ka iespējami vairāki šīs problēmas novēršanas risinājumi.

1. Samazināt attālumu starp spēkbarības transportiera ieslēgšanas un izslēgšanas sensoriem par 15–20%.
2. Palielināt spēkbarības uzkrāšanas cauruļu garumu par 20%, t.i. par 50 cm.
3. Nomainīt pirmā un otrā dozatora spēkbarības uzkrāšanas caurules (tilpnes) ar lielāka diametra caurulēm (tilpnēm), kādas, piemēram, lieto robotizētajos govju slaukšanas stendos.
4. Spēkbarības pievade govju ēdināšanas stacijām no pretējās puses, t.i., sākot no pēdējās stacijas.

3. LOPBARĪBAS MAISIĀJUMU SAGATAVOŠANAS UN IZDALES PĒTĪJUMI

Šis nodaļas mērķis ir iegūt informāciju par praksē izplatītākajiem lopbarības maisījumu sagatavošanas un izdales tehnoloģiskiem risinājumiem, kurus izmanto robotizētās slaucamo govju fermās dzīvnieku izēdināšanai pie barības galda, kā arī noskaidrot attiecīgo tehnoloģisko iekārtu ekspluatācijas parametrus.

Par ekspluatācijas pētījumu bāzes vietām izvēlētas piecas Latvijas saimniecības, kurās izmanto atšķirīgas barības maisījumu sagatavošanas un izdales tehnoloģijas. Izvēlēto saimniecību ganāmpulku lielumi ir robežās no 71 līdz 598 slaucamajām govīm. Visās saimniecībās tika veikta mobilo agregātu pārvietošanās attālumu uzmērīšana, kā arī darba procesa hronometrāža, atsevišķi izdalot lopbarības iekraušanu un maisījuma sagatavošanu, pārbaucienus ar kravu, lopbarības izdali un tukšgaitas pārbaucienus.



3.1.att. Spēkbarības un skābbarības iekraušanas vidējais ražīgums salīdzinājumā iekļautajās saimniecībās

Fig. 3.1. Average fodder and silage loading productivity comparing considered farms

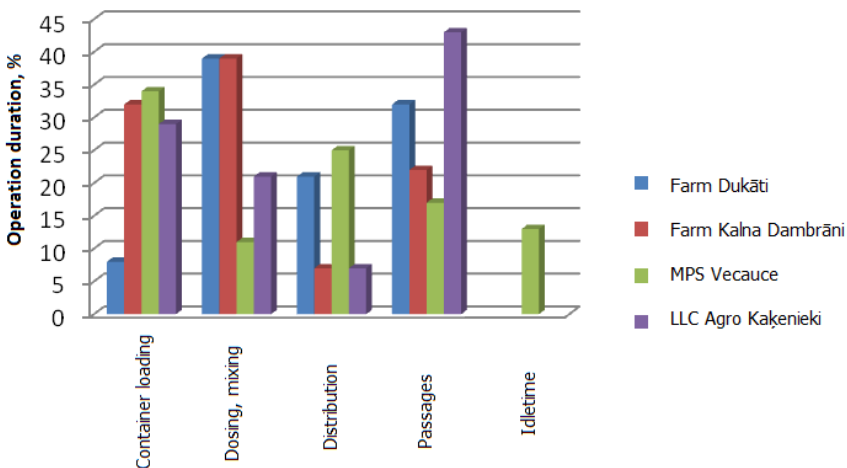
Hronometrāžas dati rāda (3.1. att.), ka iekraujot tranšejās sagatavoto skābbarību, darba ražīgums dažādiem tehnoloģiskiem variantiem ir bijis robežās no 11.4 līdz 17.3 t h⁻¹.

Izņēmums ir MPS Vecauce, kur šis darba ražīgums sasniedza 45.6 t h⁻¹. Tas tādēļ, ka MPS Vecauce tiek izmantotas skābbarības iekraušanas dakšas, kurām nav nažu, un tāpēc barība tiek izplēsta no kaudzes ar lieliem gabaliem.

Taču šāds izkraušanas veids netiek rekomendēts, jo sekmē krātuvē palikušās skābbarības bojāšanos (Geringhausen, 2004).

Matemātiski apstrādājot hronometrāžas datus (3.2. att.), redzam, ka z/s „Dukāti” lietotais robots, kurš paredzēts lopbarības izdālei, salīdzinoši daudz laika patērē, lai dozētā veidā izdalītu katrai govju grupai paredzēto barības maisījuma daudzumu (aizņem 39% no visa kopējā cikla laika).

Ja, savukārt, izmanto pašgājēja tipa lopbarības maisītāju izdalītāju (z/s Kalna Dambrāni), tad lielākais laika patēriņš ir barības maisīšanas procesam, (attiecīgi 39%), bet otrs lielākais laika patēriņš ir saistīts ar pārbraucieniem (31%).



3.2.att. Barības izdales laiku sadalījums salīdzināmajās saimniecībās

Fig. 3.2. Feed distribution time percentage on compared farms

Ja barības izdālei lieto divus traktorus (MPS Vecauce), no kuriem viens strādā ar barības maisītāju izdalītāju, bet otru agregatē ar spēkbarības iekrāvēju, tad lielākais laika patēriņš ir visu barības līdzekļu iekraušanai, jo tas aizņēma 34% no kopējā lopbarības izdālei patērētā laika.

Analizējot barības izdales procesu SIA Agro Kaķenieki, redzams, ka 43% no kopējā laika tiek patērēts pārbraucienos.

Barības izdales agregātu pārvietošanās vidējais ātrums ir robežās no 4.9 līdz 6.2 km h⁻¹, bet barības izdales laikā – no 0.49 līdz 1.21 km h⁻¹.

4. LOPBARĪBAS IZDALES TEHNOLOĢIJU EKONOMISKAIS NOVĒRTĒJUMS

Katra saimniecība ir unikāla, jo tās darba organizācija realizējot lopbarības izdāli ir atkarīga no izmantotās tehnoloģijas, ģeogrāfiskajiem apstākļiem, kā arī citiem konkrēto situāciju raksturojošiem apstākļiem. Tādēļ,

turpmāko pētījumu veikšanai, tika izvēlētas septiņas praksē izplatītas pamattehnoloģijas (4.1.tabula).

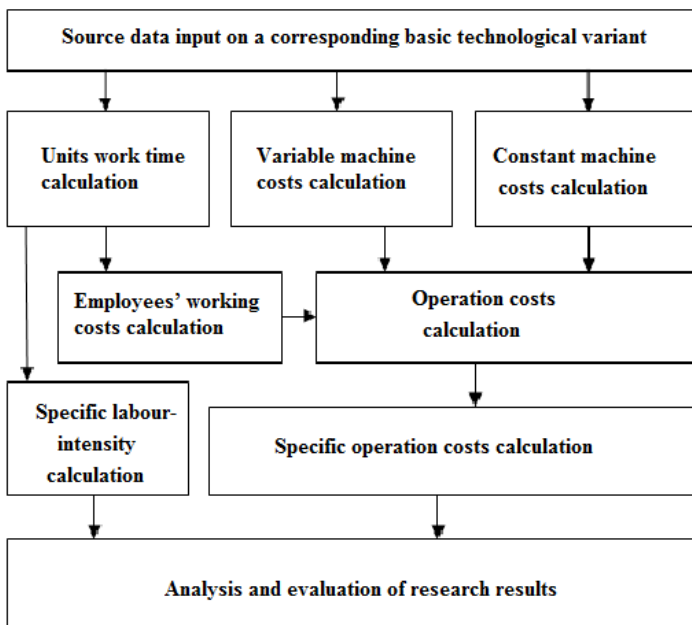
Visām šīm pamattehnoloģijām tika aprēķinātas īpatnējās izmaksas un īpatnējās darbietilpības, sastādot matemātisko modeli pēc 4.1.attēlā dotās shēmas.

4.1. tabula

Pamatehnoloģiju raksturojums

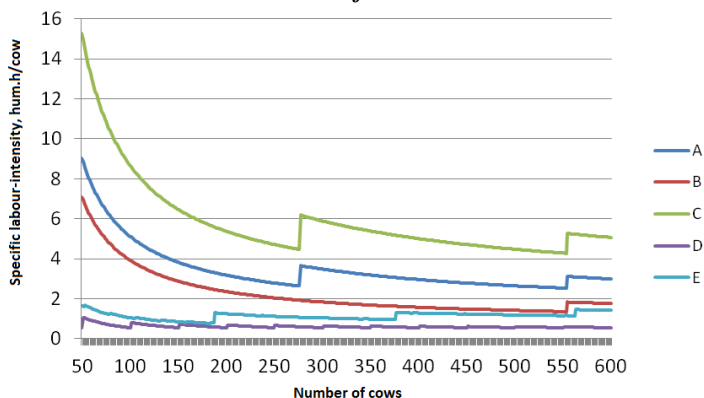
Tehnoloģijas Nr.	Maisījuma sagatavošana	Maisījuma izdale	Spēkbarības izdale	Strādājošo skaits
A	Traktora agregāts, kura priekšgalā piemontēts kauss ar pasīviem nažiem, bet aizmugurē piekabināts lopbarības maisītājs izdalītājs. Skābbarības iekraušanas laikā traktoru atkabina no maisītāja izdalītāja. Spēkbarību piejauc maisījumam.			1
B	Visas lopbarības maisījuma sagatavošanas un izdales operācijas veic ar pašgājēja tipa maisītāju izdalītāju. Spēkbarību piejauc maisījumam.			1
C	Traktora agregāts ar piekabinātu lopbarības maisītāju izdalītāju. Skābbarības iekraušanai izmanto atsevišķu traktora agregātu, kuram ir kauss ar pasīviem nažiem. Spēkbarību piejauc maisījumam.			2
D1	Barības robots, kurš uzpildās no stacionārām dozortilpnēm. Zālaugu barību dozortilpnēs uzpilda ar traktora agregātu, kuram ir 1.5 m ³ ietilpības kauss		Kūti ierīkotas spēkbarības izdales stacijas	1
D2			Spēkbarību iekļauj barības maisījuma sastāvā	1
E1	Mobils traktorvilkmes maisītājs izdalītājs. Atsevišķs skābbarības iekrāvējs	Barības robots, kuru uzpilda no stacionāras dozortilpnes	Kūti ierīkotas spēkbarības izdales stacijas	1
E2			Spēkbarību iekļauj barības maisījuma sastāvā	1

Ekonomisko aprēķinu matemātiskais modelis izstrādāts *Matlab Simulink* datorprogrammā. Modelī ņemtas vērā ganāmpulka izmaiņas (no 50-600 govīm), govju sadalījums vairākās ēdināšanas grupās, vadoties pēc to izslaukuma, kā arī barības izdales biežums - lietojot mobilos izdalītājus - divas reizes dienā, bet lopbarības izdales robotus – piecas reizes dienā.



4.1.att. Ekonomisko aprēķinu blokshēma

Pic. 4.1. Block scheme of economic calculations



4.2. att. Īpatnējās darbietilpības izmaiņas, atkarībā no fermā esošā govju skaita un izmantotās pamattehnoloģijas (pamattehnoloģiju atšifrējums dots 4.1. tabulā)

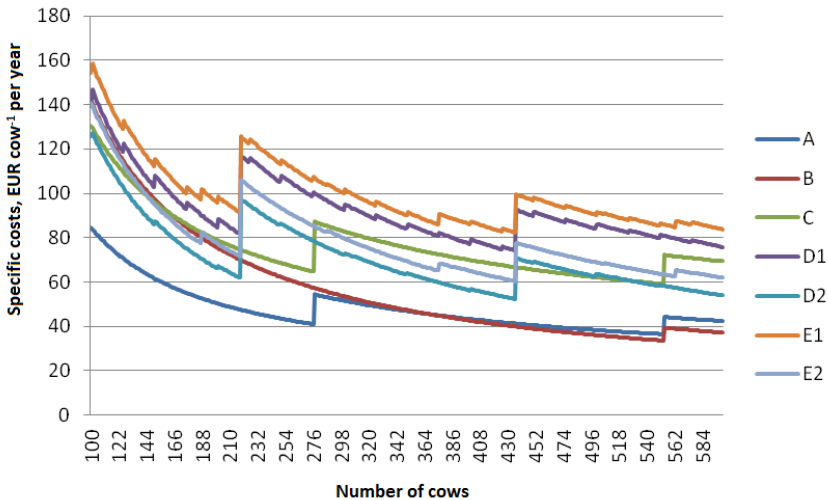
Fig. 4.2. Specific labour-intensity changes depending on the number of cows and basic technologies used on a farm (the transcript of basic technologies is provided in Table 4.1)

Nepieciešamie izejas dati tika iegūti no lopbarības maisījumu sagatavošanas un izdales tehnoloģiju hronometrāžas rezultātiem, kuri apkopoti 3. nodaļā.

Aprēķinu rezultāti redzami 4.2. un 4.3. attēlā.

Kā redzams no 4.2. attēla, lopbarības maisījuma sagatavošanai un izdai nepieciešamā īpatnējā darbietilpība ir atkarīgs no tehnoloģiskā varianta un novietnē esošā govju skaita. Jo govju skaits ir lielāks, jo strādājošo darba patēriņš, rēķinot uz vienu govī, ir mazāks. Darba patēriņš, lietojot robotizēto lopbarības izdali 300 govju ganāmpulkam ir aptuveni 5 reizes mazāks, nekā izmantojot traktorvilkmes izdalītājus.

Lopbarības maisījumu sagatavošanas un izdales īpatnējās ekspluatācijas izmaksas ir redzamas 4.3. attēlā.



4.3. att. Lopbarības maisījuma sagatavošanas un izdales īpatnējās ekspluatācijas izmaksas, atkarībā no govju ganāmpulka lieluma un izmantotās pamattehnoloģijas, ja strādājošo atalgojums ir 3.5 EUR h⁻¹ (pamattehnoloģiju atšifrējums dots 4.1. tabulā)

Pic. 4.3. Specific operation costs of feed mixture preparation and distribution depending on the cow herd size and used basic technology, if the salary of workers is 3.5 EUR h⁻¹

(the transcript of basic technologies is provided in Table 4.1)

Pētījumi liecina, ka lētākais barības maisījuma sagatavošanas un izdales variants ir atkarīgs no govju ganāmpulka lieluma. Ja fermā ir līdz 375 govīm, tad ekonomiski izdevīgāka ir pamattehnoloģija A, kuras realizēšanai nepieciešams viens traktors, kurš komplektēts ar lopbarības iekrāvēju un piekabināmu maisītāju izdalītāju, bet ja govju ir vairāk – tad pamattehnoloģija

B, kad barības izdalei izmanto pašgājēja agregātu. Savukārt lopbarības robotu izmantošana palielina īpatnējās ekspluatācijas izmaksas 2 reizes.

Taču situācija nav tik izdevīga, ja strādājošo darba atalgojums palielinās, sasniedzot EUR 10 h⁻¹, kā tas mēdz būt attīstītākajās Rietumeiropas valstīs. Šajā gadījumā par noteicošo faktoru kļūst tehnoloģijas realizēšanā iesaistīto cilvēku skaits. Jo tas ir mazāks, jo attiecīgā tehnoloģija ir ekonomiski izdevīgāka. Tādēļ govju ganāmpulku no 100 līdz 220 govīm, ir izdevīgāk izmantot barības izdales robotu, bet pie lielāka govju skaita – pašgājēja tipa maisītāju izdalītāju.

Tādēļ var prognozēt, ka nākotnē uzlabojoties iedzīvotāju dzīves līmenim, slaucamo govju fermās, kurās ganāmpulka lielums nepārsniedz 250–300 govīs, dominēs robotizētu un automatizētu tehnoloģiju izmantošana.

SECINĀJUMI

1. Piena ražošanas fermās, kurās ieviesta robotizētā slaukšana, spēkbarība iekļaujama pamatbarības maisījuma sastāvā, kuru izdala pie barības galda, kā arī izēdināma robotizētā slaukšanas stendā, jo tā stimulē govju patstāvīgu došanos uz slaukšanu un dzīvnieku potenciālā ražīguma sasniegšanu, bet ja govju izslaukumi pārsniedz 30 l diennaktī, tad spēkbarība izēdināma arī speciāli ierīkotās stacijās.
2. Spirāltransportieris, kuru izmanto spēkbarības transportēšanai no uzkrāšanas tvertnes līdz spēkbarības izēdināšanas vietām, nodrošina efektīvu lopbarības pārvietošanu līdz 30° lielam pacēlumam. Ja nepieciešamais transportiera pacēluma leņķis ir lielāks, tad šim nolūkam ir jāizmanto gliemežtransportieris vai arī jāpilnveido transportiera konstrukcija, lai slīpajā posmā tas strādātu kā gliemežtransportieris, bet pagriezienu vietā un horizontālajā posmā kā spirāltransportieris.
3. Spirāltransportiera darba ražīgums mainās tieši proporcionāli transportiera pildījuma koeficientam. Darbojoties pie horizontāla novietojuma, pildījuma koeficients ir 0.82–0.84, bet ja transportiera novietojuma slīpums (pacēlums) sasniedz 30°, tad pildījuma koeficients – 0.55.
4. Spirāltransportiera piedziņas griezes moments ir atkarīgs no transportiera montāžas īpatnībām un lopbarības fizikāli mehāniskām īpašībām. Ja transportiera novietojuma slīpuma leņķis palielinās no 0° līdz 15°, tad griezes moments pieaug 1.2–1.5 reizes. Ja, savukārt, transportierim piemontēts 45° liels līkums, tad griezes moments pieaug par 30–40%, bet ja granulu mitrums palielinās no 9% līdz 18%, tad šis griezes momenta pieaugums ir 100%.
5. Montējot spēkbarības izdales līniju, kurā ietilpst vairākas spēkbarības izdales stacijas, nav vēlams, ka pēdējā līnijas stacijā, pie kuras pievienoti spēkbarības transportiera ieslēgšanas un izslēgšanas automātikas sensori, ir mazāks spēkbarības patēriņš nekā pārējās spēkbarības izēdināšanas stacijās, jo tas var izraisīt spirāltransportiera ieslēgšanas automātikas

darbības atteikumus. Ja šo nosacījumu nevar realizēt, tad, līniju montējot, ir jāņem vērā 2. nodaļā izvestās matemātiskās sakarības.

6. Mobilo traktorvilkmes lopbarības maisītāju izdalītāju ekspluatācijas darba ražīgums ir robežās no 3.9 līdz 6.6 t h⁻¹, bet pašgājēja tipa agregātam sasniedz 17–18 t h⁻¹. Visbūtiskāk šo darba ražīgumu ietekmē lopbarības iekraušanas ražīgums (par 50%), kā arī maisīšanas laiks (20%). Savukārt agregātu pārvietošanās vidējais ātrums, braucot ar kravu un tukšgaitā, ir robežās no 4.9 līdz 6.2 km h⁻¹, bet barības izdales laikā – no 0.49 līdz 1.21 km h⁻¹.
7. Izstrādāta metodika un matemātiskais modelis lopbarības maisījumu sagatavošanas un izdales tehnoloģisko variantu savstarpējai salīdzināšanai pēc īpatnējās darbietilpības, cilv.h govi⁻¹ gadā, un īpatnējām ekspluatācijas izmaksām, EUR govi⁻¹ gadā.
8. Lopbarības maisījuma sagatavošanas un izdales īpatnējo darbietilpību ietekmē gan izmantotais tehnoloģiskais variants, gan govju ganāmpulka lielums. Lietojot lopbarības izdales robotus, īpatnējā darbietilpība nepārsniedz 0.9 cilv.h govi⁻¹ gadā, izmantojot pašgājēja tipa agregātus - 1.5–3.0 cilv.h govi⁻¹ gadā, bet lietojot traktorvilkmes agregātus 2.5–7.5 cilv.h uz govi gadā. Ja ganāmpulka lielums palielinās no 100 līdz 500 govīm, tad īpatnējā darbietilpība samazinās 1.5–2 reizes.
9. Vērtējot pēc īpatnējām ekspluatācijas izmaksām, fermās ar 100 līdz 375 govīm racionāli izmantot tādas lopbarības maisījuma sagatavošanas un izdales tehnoloģijas, ar kurām visas darba operācijas izpilda viens cilvēks (mobīlā agregāta vadītājs), bet pie lielāka govju skaita ekonomiski izdevīgāka ir pašgājēja tipa agregātu izmantošana.
10. Lopbarības robotu izmantošana, salīdzinājumā ar mobīliem agregātiem, palielina lopbarības maisījuma sagatavošanas un izdales īpatnējās izmaksas 1.5–2.0 reizes, bet tie kļūst konkurentsējīgi, ja lopkopībā strādājošo darba algas palielināsies līdz EUR 10 h⁻¹, kā tas ir attīstītākajās Rietumeiropas valstīs.

RESEARCH TOPICALITY

The usage of cow milking robots or automatic milking systems (AMS) is spreading fast in the dairy farming, but its introduction changes the process of cow feeding as the feed is delivered in several places. But the desired feed distribution by these feeding places has not been studied enough till the present moment, the troubleproof operation of the fodder feeding line is not always ensured, and the economic assessment of the mixed feed preparation and distribution technology and technological equipment has not yet been made.

From the summaries of scientific researches and their analytical assessment made in the dissertation it can be concluded that broad researches on planning feed rations, feed preparation, and also on evaluation of feeding methods have been realised, but the usage of precise technology in cow feeding connected with robotised milking and efficient use of mixed fodder distribution equipment has been studied much less.

The introduction of the robotised cow milking technology is one of the greatest challenges in the precise dairy farming. But for the present when introducing this new technology, farmers have to face different difficulties.

Thus, for example, on the milk farm of the LUA (Latvia University of Agriculture) study and research farm Vecauce after the introduction of robotised milking system (AMS) several mixed fodder feeding problems were revealed: feed gets stuck in the transporter, troubles with automatic operation of the line, etc. This reduced the effectiveness of AMS application as in case of robotised milking the fodder feeding does not only provide cows with necessary nutrition, but also serves as stimulator for more often visits to milking stands.

Therefore in the dissertation a great attention is paid to the study of fodder line operation as it ensures the delivery of mixed fodder to feeding places and its distribution to animals.

The rational preparation and distribution of the partly mixed ration is also of great importance, because it used to contain not only forage plants feeds and different premixes, but also a little amount of fodder improving the taste and consumption of this mixture. But this can reduce the number of visits to the robotised milking stands. That is why it is useful to establish the necessity of including fodder into the mixture, and also to find out the economically advantageous mixture preparation and distribution variants.

At the moment in Latvia there are mainly introduced cow milking robots produced by the company *Delaval* that have approved by farmers. Therefore this dissertation is connected with research of feed distribution technology and technical solutions in milking cow cattle-sheds where the milking robots produced by this company are used.

RESEARCH OBJECT, HYPOTHESIS, AIM AND OBJECTIVES

Research object – milk farms where the robotised cow milking is introduced using VMS robots offered by the company *Delaval*.

Research hypothesis – on the milking cow farms where the robotised milking is introduced the feed distribution can be improved choosing technological solutions that are the most suitable for particular circumstances and ensuring the troubleproof operation of the fodder distribution line.

Research aim – to ascertain the most rational technological and technical solutions of feed distribution for milk farms where the robotised cow milking is used.

Research objectives:

1. To evaluate the technological cow feeding system used in robotised milking, for which it is typical to feed the fodder in three different places: at the feed table (including it into the mixed feed), in robotised milking stands and at the fodder feeding stations.
2. To develop the theoretical grounds and a constructive solution for improved combined fodder transporter that improves the technological fodder distribution line operation in operation circumstances.
3. To work out the mathematical model for comparison of the technological feed distribution solutions and for determining the economic efficiency.
4. To determine the operation parameters of the mixed feed preparation and distribution units.
5. To work out practical recommendations about the choice, introduction and operation of the feed distribution technology.

RESEARCH METHODS

The following research methods were used in the dissertation: analysis, modelling, predicting, experimental (in laboratory circumstances), statistical and economic assessment.

THESES FOR DEFENCE

1. Keeping high-productivity cows, the fodder feeding is necessary not only at the feed table and in robotised milking stands, but also at the fodder feeding stations.
2. For fodder transportation from storage container to the stationary consumption places it is preferable to use a combined fodder transporter, which operates as a worm transporter at inclined section, and as a spiral transporter at horizontal section.
3. If at the fodder feeding stations the feed consumption is irregular, then it is possible that there are fodder delivery interruptions for separate

stations, which can be prevented by an appropriate fodder distribution line assembly.

4. The mixed feed preparation and distribution technology the most appropriate for milking cow farm depends on the size of its herd.

SCIENTIFIC NOVELTY AND PRACTICAL APPLICATION OPPORTUNITIES OF RESEARCH

1. The theoretical grounds and a constructive solution for improved combined fodder transporter is developed (LV patent No.14605. The fodder distribution line with a spiral transporter).
2. The necessity to use the fodder stations on milk farms with high-productivity cows and introduced robotised cow milking system offered by the company *Delaval* is proved.
3. The mathematical model of the economic efficiency assessment for typical technological feed preparation and distribution solutions, and also the mutual comparison of these technologies is made.
4. The practical recommendations to be observed when introducing robotised cow milking and fodder feeding stations are developed:
 - using the robotised cow milking it is essential to ensure troubleproof operation of the fodder distribution line. If in a particular situation the feed spiral transporter assembly incline exceeds 30° , then at this inclined section a flexible plastic pipe should be placed into the spiral of the spiral transporter in order to fill the central part of the spiral. It prevents the feed from dropping back and improves the transporter productivity in critical situations;
 - if at the last fodder feeding station, to which the upper and lower level sensors are attached, the consumption of the fodder is lower than at other stations, then it is possible that there are troubles with operation of switching on transporter automatics. In order to prevent them, the following solutions are to be used:
 - decreasing the distance between switching on and switching off sensors of a transporter;
 - increasing the capacity of the storing containers for the most loaded fodder stations;
 - reassembling the line, in order on of the higher fodder consumptions would be at its last station.
 - the distance between the last fodder line station and the previous station has to be big enough in order the fodder amount accumulated at this spiral transporter section does not exceed the capacity of the part between sensors in the last fodder distribution station feed storing container, otherwise the operation of the fodder transporter automatics is hampered;

- if the size of the herd is from 100 to 375 cows, then for feed preparation and distribution it is desirable to use tractor unit with a front grab type loader and an agitator distributor hooked to the rear part. Loading into the trench the preserved forage plants feed, the agitator distributor is unhooked from the tractor. If the size of the herd is over 375 cows, then it is suitable to use mobile agitator distributor of automotive type for preparation and distribution of the mixed feed.

APPROBATION OF DISSERTATION

Publications in universally recognized reviewed editions

1. Saliņš A., Freimanis J., Priekulis J. Preparation and distribution of mixed feed using mobile machinery. **In:** *Proceedings of the 10th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava: LUA, 2011. – p. 59.- 64., ISSN 1691-3043.
2. Laurs A., Priekulis J., Zujs V., Saliņš A. Milking frequency in milking robots with feed first cow traffic. **In:** *Proceedings of the 7th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava: LUA, 2008. – p. 275.- 278., ISBN 1691-3043.
3. Latvietis J., Priekulis J. Saliņš A. Rational system of distribution of feed in the dairy cow farm with the use of milking robots. **In:** *Proceedings of the 14th International Scientific Conference "Problems of the intensification of livestock production with the focus on environment and the EU standards."* Warsaw: ITP, 2008. - p. 150.- 154., ISBN 978-83-86264-71-1.
4. Saliņš A., Priekulis J. Research in mixed feed distribution line on Latvia University of Agriculture training and research milk farm. **In:** *Proceedings of the 8th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava: LUA, 2009. – p. 32.- 37., ISSN 1691-3043.
5. Priekulis J., Laurs A., Saliņš A. Research of technological line of feed distribution to the feeding places. **In:** *Proceedings of the 15th International Scientific Conference "Problems of the intensification of livestock production with the focus on environment and the EU standards."* Warsaw: ITP, 2009- p. 129.- 133., ISBN 978-83-89806-30-7.
6. Salins A., Priekulis J. Working efficiency of spiral conveyor in transportation of mixed feed. **In:** *Proceedings of the 9th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava: LUA, 2010. – p. 117.-123, ISSN 1691-3043.
7. Saliņš A., Freimanis M., Truhanovs R., Priekulis J. The most efficient solutions of forage distribution on modern dairy cow farms. **In:** *Agronomy Research, Biosystem Engineering Special Issue 1*, Tartu: EAU, 2012, p. 219 – 226., ISSN 1406-894X.

8. Saliņš A., Vicinskis A., Priekulis J. Torsion moment of spiral conveyors for transportation of granulated feed. **In:** *Proceedings of the 17th International Scientific Conference "Problems of the intensification of livestock production in terms of the standards of environmental protection and the EU"* Warsaw ITP, 2011. - p. 189. – 194., ISBN 978-83-62416-20-2.
9. Freimanis M., Saliņš A., Priekulis J. Economic evaluation of animal feed mix distribution Technologies. **In:** *Proceedings of the 11th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava: LUA, 2012. – p. 108 – 111., ISSN 1691-3043.
10. Latvietis J., Priekulis J., Salins A. Solutions of concentrated feed consumption by cows in conditions of robotised milking. **In:** *Proceedings of the 12th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava: LUA, 2013.– p. 213.-216., ISSN 1691-5976.
11. Salins A., Aboltins A., Freimanis M. Improvement of concentrated feed conveyer operation efficiency. **In:** *Proceedings of the 12th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava: LUA, 2013. – p. 208. – 212. ISSN 1691-5976.
12. Priekulis J., Saliņš A. Study of peculiarities of spiral transporters used for dispensing of mixed feed. **In:** *Proceedings of the 7th International Scientifically-Practical Conference "Ecology and farm equipment."* St. Petersburg 2011. – p. 87. - 91., ISBN 978-5-88890-069-7.
13. Latvietis J., Priekulis J., Saliņš A. Problems of providing cows with the concentrated feed in loose housing and when implementing robotic milking./ Actual problems of intensive development of animal husbandry. **In:** *Collection of Scientific Papers, 16th edition in two parts. Part 1.* Gorki: Belarusian State Agricultural Academy, 2013. - p. 184.-196., ISSN 2079-6668.

Other publications

1. Priekulis J., Saliņš A., Laurs A., Vicinskis A. Mixed feed distribution line with spiral conveyor. **In:** *Invention papent publication. //Patents and trademarks.* 11/2012. p. -1525.
2. Priekulis J., Saliņš A. Robotized feed distribution in cow shields. // *AgroTops*, 2011. April – p. 64.-66. and May – p. 59.-61.
3. Priekulis J., Latvietis J., Saliņš A. Mixed feed distribution for cows in the precision dairy farming. // *AgroTops*, 2013. December – p. 50.-52.

Speeches with presentations at international scientific conferences

1. Laurs A., Priekulis J., Zujs V., Saliņš A. Milking frequency in milking robots with feed first cow traffic. *7th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development"*. Jelgava: LUA, Latvia, May 29-30, 2008.

2. Saliņš A., Priekulis J. Research in mixed feed distribution line on Latvia University of Agriculture training and research milk farm. *8th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 28-29, 2009.
3. Salins A., Priekulis J. Working efficiency of spiral conveyor in transportation of mixed feed. *9th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 27-28, 2010.
4. Saliņš A., Freimanis J., Priekulis J. Preparation and distribution of mix using mobile machinery. *10th International Scientific Conference „Engineering for Rural Development”*. Jelgava: LUA, Latvia, May 26-27, 2011.
5. Priekulis J., Laurs A., Saliņš A. Research of technological line of feed distribution to the feeding places. *The 15th International Scientific Conference “Problems of the intensification of livestock production with the focus on environment and the EU standards.”*. Warsaw: ITP, Poland, September 22-23, 2009.
6. Saliņš A., Priekulis J. The torsional moment of spiral conveyor ran in transportation of granulated mixed feed. *The 17th International Scientific Conference “Problems of the intensification of livestock production with the focus on environment and the EU standards.”* Warsaw: ITP, Poland, September 20-21, 2011.
7. Saliņš A. Freimanis M., Truhanovs R., Priekulis J. The most efficient solutions of forage distribution on modern dairy cow farms. *International Scientific Conference „Biosystems Engineering”*. Tartu: Estonian University of Life Sciences, Estonia, May 10-11, 2012.
8. Saliņš A. The research of mixed feed conveyor optimization. *The 18th International Scientific Conference “Problems of the intensification of livestock production with the focus on environment and the EU standards.”*. Warsaw: ITP, Poland, September 19-20, 2012.

Participation in projects connected with dissertation

1. LCS research project No.09.1463 „The study of technological systems and development of future dairy farm.” (2009.-2012.).
2. LUA research project No.llu zp 07-60 „Research of implementation of cow robotized milking in the LUA RTF Vecauce. (2007).
3. LUA research project No.XP 131 „Research of exploitation of cow milking robot in the LUA research and training farm Vecauce. (2008).

Received patent

1. Mixed feed distribution line with spiral conveyor. Patent No.14605. Published in 20.11.2012. Owner LUA. Inventors: J.Priekulis, A.Saliņš, A.Laurs, A.Vicinskis.

1. THEORETICAL STUDIES

In order to effectively solve issues connected with the feed distribution using the robotised milking the theoretical studies are necessary on the desired number of places and the way of fodder feeding, and also on fodder distribution line operation.

1.1. The amount of fodder fed to cows and its distribution by separate feeding places

Using robotised cow milking, the fodder can be fed in three places: as a part of the mixed feed served at the feed table, in robotised cow milking stands (AMS), and at the fodder feeding stations.

The distribution of fodder is conducted by the cow herd management system (Fig. 1.1.), using data characterising the feed aids, the cow herd and the amount of fodder in the mixed feed. This system calculates the total fodder amount necessary for each cow per day, and also conducts its distribution in cow milking stands and at fodder feeding stations.

The total fodder amount that one cow can receive using AMS is

$$Q_{dn} = Q_{dn.m} + Q_{dn.s} + Q_{dn.r}, \quad (1.1)$$

- where Q_{dn} –the total fodder amount fed to a cow, $\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$;
- $Q_{dn.m}$ –the fodder amount in the mixed feed that cows consume at the feed table, $\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$;
- $Q_{dn.s}$ –the fodder amount fed to one cow at the fodder feeding stations, $\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$;
- $Q_{dn.r}$ –the fodder amount fed to one cow in the robotised milking stands, $\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$.

But the question about the usage of fodder stations is disputable because in practice they are not used often, and the whole amount of fodder necessary for cows is fed during milking and at the feed table. Therefore the fodder amount received by a cow at the feed table and at the fodder feeding stations is explained

$$Q_{dn.m} = \lambda_s \cdot Q_m, \quad (1.2)$$

- where λ_s –the coefficient of fodder admixture in the mixed feed;
- Q_m –the mixed feed amount consumed by one cow, $\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$.

In its turn the maximal fodder amount that cows can receive in the robotised milking stands depends on the time spent by a cow in the stand and the fodder consumption speed:

$$Q_{dn.r} = v_s \cdot n_s \cdot t_s, \quad (1.3)$$

- where v_s – the cow average fodder consumption speed, kg min⁻¹;
 n_s – the number of milking times per day;
 t_s – the average length of one milking time, min.

Therefore the fodder stations are necessary in case if

$$Q_{dn.o} + Q_{dn.p} > \lambda_s \cdot Q_m + v_s \cdot n_s \cdot t_s, \quad (1.4)$$

- where $Q_{dn.o}$ – the normative fodder amount that a corresponding cow should receive according its yield and physiological state, kg·day⁻¹;
 $Q_{dn.p}$ – the part of additionally fed fodder amount transferred from the fodder amount left uneaten on the previous day, kg·day⁻¹.

Using the formula (1.4) and one month data accumulated in the management system of the milking cow farm „Ligotnes” of LUA study and research farm Vecauce, it was ascertained that the fodder feeding stations are necessary if the cow milk yield exceeds 30 kg per day.

The fodder amount fed at the station to one cow

$$Q_{dn.s} = Q_{dn.o} + Q_{dn.p} - \lambda_s \cdot Q_m + v_s \cdot n_s \cdot t_s. \quad (1.5)$$

But the number of feeding stations necessary on the farm is

$$n_{st} > \frac{Q_{dn.s1} \cdot Z_{g1} + Q_{dn.s2} \cdot Z_{g2} + \dots + Q_{dn.sn} \cdot Z_{gn}}{24 \cdot q_{st}} + \frac{(Z_{g1} + Z_{g2} + \dots + Z_{gn}) \cdot (t_{ie} + t_{iz}) + t_{serv}}{24}, \quad (1.6)$$

- where n_{st} – the number of feed distribution stations necessary on the corresponding farm;
 $Z_{g1}; Z_{g2}; Z_{gn}$ – the number of cows in the first, second and n^{th} milk yield group, respectively;
 $Q_{dn.s1}; Q_{dn.s2}; Q_{dn.sn}$ – the fodder portion fed at stations to cows of the first, second and n^{th} milk yield group, respectively kg (cow per day)⁻¹;
 q_{st} – the average fodder distribution capacity at one feeding station, kg h⁻¹;
 $t_{ie}; t_{iz}$ – time consumption for a cow entering and leaving the feeding station, h per day⁻¹;
 t_{snv} – time consumption for the service of the fodder station (service time), h per day⁻¹.

1.2. Fodder distribution line studies

The fodder distribution line consists of the fodder storage container, transporters and feed distribution stations. As an example the scheme of the fodder distribution line on the milking cow farm „Līgotnes” of LUA research and training farm Vecauce is taken (see Fig. 1.2.).

Conducting the research in operation circumstance, it was stated that such fodder transportation and distribution line did not ensure the timely fulfilment with the feed of all fodder storing containers, and the most significant reasons of fodder delivery troubles are in its transportation system.

As it is seen from Figure 1.2., the spiral transporter 2 first moves the feed slantwise to the top, but achieving the necessary height moves it in horizontal direction. If the transported feed has an increased humidity, increased fragmentation or other deviation of physical or mechanical properties, then at the inclined stage the spiral transporter can stick.

In order to improve the fodder transportation in the places of rise, we have developed the constructive solutions for a combined fodder transporter (LV patent No.14605), which operates as a worm transporter in the places of rise, but in the places where the fodder have to be transported in horizontal direction and at curve turns - as a spiral transporter.

Therefore the authors studied the main factors influencing the spiral transporter operational capability depending on its placement incline angle.

1.3. Spiral transporter work productivity

In the technical literature (Grigorjevs, 1972; Meļņikovs, 1978; Minkins, 2006; Uzklīņģis, 1995) it is said that the work productivity of spiral and worm transporters depends on their construction parameters and filling coefficient, and productivity coefficient, which estimates the influence of the transporter load lifting angle on its productivity, moreover

$$Q_{sp} = \frac{60\pi D^2}{4} \varphi \cdot s \cdot n \cdot \gamma_0 \cdot c_{sp}, \quad (1.7)$$

- where
- Q_{sp} – spiral transporter work productivity, t h⁻¹;
 - D – spiral external diameter, m;
 - s – spiral step, m;
 - n – rotation speed of an active part, min⁻¹;
 - γ_0 – tightness of transported mass, t m⁻³;
 - φ – transporter filling coefficient. In this case φ is regarded as the ratio of the average area filled with material in a transporter pipe and a normal screw projection area.
 - c_{sp} – productivity coefficient, which estimates the influence of the transporter load lifting angle on its productivity.

However, in order to get the precise values of productivity coefficient, which estimates the influence of the transporter load lifting angle on its productivity, additional calculations are necessary. For this purpose theoretical regularities were worked out in order to determine the coefficient, which estimates the influence of the transporter load lifting angle on its productivity, if spiral transporter is in horizontal position, and also if the feed is transported up spirally.

In the latter case for calculations one uses a definite integral, which estimates the unfilled area in the transporter.

The spiral transporter operation scheme used for calculations is seen on the Figure 1.3.

In order to calculate the productivity coefficient c , which estimates the influence of the transporter load lifting angle on its productivity, we need to look at the area F marked on the Figure 1.3. At the bottom it is limited by straight line I and II, which represent fodder natural spillage angle surfaces during transportation, but at the bottom this area is limited by the inner surface of transporter casing pipe.

With the help of the definite integral we determine the area F not filled with fodder at the step distance s .

After integration function we acquired the connection that characterizes the coefficient, which estimates the influence of the transporter load lifting angle on its productivity.

$$c_{sp} = \frac{4R \cdot s \cdot ((R-r) + r)}{\frac{r \cdot (R-r)}{\operatorname{ctg}(\beta - \alpha)} + \frac{(R-r)^2}{2\operatorname{ctg}(\beta - \alpha)} + \frac{(R-r) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{ctg} \beta}}. \quad (1.8)$$

In order to calculate the spiral transporter work productivity the formula 1.8 should be placed into the basic work productivity calculation formula.

$$Q_{sp} = \frac{60\pi D^2}{4} \varphi \cdot s \cdot n \cdot \gamma_0 \cdot c_{sp} = 47D^2 \cdot \frac{4R \cdot s \cdot ((R-r) + r)}{\frac{r \cdot (R-r)}{\operatorname{ctg}(\beta - \alpha)} + \frac{(R-r)^2}{2\operatorname{ctg}(\beta - \alpha)} + \frac{(R-r) \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{ctg} \beta}} \cdot s \cdot n \cdot \gamma_0 \cdot \varphi. \quad (1.9)$$

The acquired connection characterizes the spiral transporter work productivity depending on its placement incline or load lifting angle α .

1.4. Worm transporter work productivity

In the worm transporter central part there is a shaft unlike the spiral transporter. Therefore during the operation of this transporter the feed does not fall off significantly (Minkins, 2006), and this factor improves the feed transportation. But the screw shaft, which occupies a part of the casing pipe

inner cross-cut area and additionally reduces the transporter filling, negatively influences the transporter useful capacity.

The worm transporter operation scheme used in calculations is seen on the Figure 1.4.

Acting similarly to the previous case we acquire the worm transporter productivity coefficient, which estimates the influence of the transporter load lifting angle on its productivity

$$c_{gl} = \frac{8r \cdot s^2 \cdot R}{s \cdot (2r) - \frac{r^2}{\operatorname{ctg}(\beta - \alpha)} + \frac{d \cdot r}{\operatorname{ctg}(\beta - \alpha)} - \frac{d \cdot s}{2}} \quad (1.10)$$

In order to calculate the worm transporter work productivity, the formula 1.9 should be placed into the basic work productivity calculation formula

$$Q_{gl} = \frac{60\pi D^2}{4} \varphi \cdot s \cdot n \cdot \gamma_0 \cdot c_{gl} = 47D^2 \cdot \frac{8r \cdot s^2 \cdot R}{s \cdot (2r) - \frac{r^2}{\operatorname{ctg}(\beta - \alpha)} + \frac{d \cdot r}{\operatorname{ctg}(\beta - \alpha)} - \frac{d \cdot s}{2}} \cdot s \cdot n \cdot \gamma_0 \cdot \varphi \quad (1.11)$$

The acquired connection characterizes the worm transporter work productivity depending on the load lifting angle α .

In order to make comparative calculations of the spiral transporter and worm transporter productivity at the corresponding load lifting angle α , the model constructed with the help of the computer programme *Matlab Simulink* was used. In these model the previously worked out formulas 1.8 and 1.10 of the transporter coefficient, which estimates the influence of the transporter load lifting angle on its productivity, and also transporter work productivity formulas were used.

An additional mathematical model was developed, with the help of which to calculate the transporter productivity coefficient, which estimates the influence of the transporter load lifting angle on its productivity depending on its placement incline angle (Fig.1.5.).

1.5. The comparison of the transporter productivity coefficient working in worm transporter and spiral transporter operation modes

In order to evaluate the results of theoretical studies, the fodder transportation solutions were compared, changing transporter incline (load lifting) angle (Fig. 1.6.).

For this purpose both a simplified calculation (when transporter is in horizontal position), both forms acquired with the help of integration and suitable at different load lifting angles, were used. As it is seen from the picture, both previously considered methods of transporter productivity calculation give approximately similar results, which testifies that integral

method and constructed mathematical model are correct. Moreover we can state that at the load lifting angle less than 30°, the spiral transporter has the better productivity coefficient, but if this angle is more than 30°, the worm transporter has the better productivity coefficient.

1.6. Determining torsional moment of transporter drive

Completing fodder delivery transporter, it is important to choose a correct electromotor drive depending on capacity necessary to operate a transporter. It is testified by laboratory researches, in which the capacity necessary to spiral transporter drive is explained depending on peculiarities of these transporters assembly (length, incline angle, turns, etc.) and properties of transported fodder (humidity, fragmentation, etc.). Therefore in each particular case an electromotor of corresponding capacity should be used, otherwise it gets overloaded or it results in unnecessary energy consumption.

Taking into consideration that most often for drive of spiral transporters and worm transporters asynchronous electromotors with constant rotation frequency and single-stage speed-reducers are used, then the altering factor of the transporter drive is the torsional moment, which A.Grigorjevs (Grigorjevs, 1972) recommends to characterise with the following connection

$$M = \frac{\varepsilon k Q L + \frac{QH}{367\eta}}{n}, \quad (1.12)$$

where M - torsional moment.
 $k=1,2\div 1,4$ - coefficient, which takes into consideration idle capacity;

Taking into consideration the acquired spiral transporter productivity formula (1.9), torsional moment calculation formula (1.12) can be transformed as follows:

$$M = \frac{\varepsilon \cdot k \cdot 47 \cdot D^2 \cdot \alpha \cdot \frac{4 \cdot R \cdot s \cdot ((R-r)+r)}{r \cdot (R-r) + \frac{(R-r)^2}{2 \cdot \text{ctg}(\beta-\alpha)} + \frac{(R-r) \cdot \text{tg} \alpha}{\text{ctg} \beta}} \cdot s \cdot n \cdot \gamma_0 \cdot L + \frac{47 \cdot D^2 \cdot \alpha \cdot \frac{4 \cdot R \cdot s \cdot ((R-r)+r)}{r \cdot (R-r) + \frac{(R-r)^2}{2 \cdot \text{ctg}(\beta-\alpha)} + \frac{(R-r) \cdot \text{tg} \alpha}{\text{ctg} \beta}} \cdot s \cdot n \cdot \gamma_0 \cdot H}{367 \cdot \eta}}{n}, \quad (1.13)$$

Using the previously acquired connection (1.13), and also *Matlab Simulink* computer programme, we model the torsional moment change depending on transporter incline angle. Torsional moment calculation block scheme is as an addition to the previously considered transporter productivity calculation block scheme, which is seen on the Figure 1.5.

1.7. Ensuring spiral transporters automatic operation

Conducting experimental researches on the farm *Līgotnes* of LUA research and training farm Vecauce, it was stated (Saliņš, Priekulis, 2009), that fodder delivery troubles occur not only because of the incorrect choice or usage of transporters, but also if several fodder distribution stations are used with irregular fodder consumption. It is connected with line operation peculiarities during stations filling.

The fodder amount that accumulates and moves along different places of technological line can be calculated according to situation provided on the Figure 1.8.

Taking into consideration that during transporter operation in automatic mode feed accumulation pipe in the last dosimeter gets filled for area capacity between sensors, the following connection should be valid

$$M_f < \frac{M_p}{\Psi}, \quad (1.14)$$

- where M_f – maximal possible served fodder amount at one of the first feeding stations (except the last), kg;
 M_p – fodder amount served at the last feeding station, kg.
 Ψ – coefficient that estimates what part of the total capacity of the fodder accumulation pipe is its capacity between two sensors;

Coefficient that estimates at which feeding station container filling the spiral transporter gets switched on

$$\sigma = \frac{l_{ss}}{l_u}, \quad (1.15)$$

- where σ – coefficient that estimates the feeding station container filling degree at which the spiral transporter gets switched on;
 l_{ss} – distance between transporter switching on and switching off sensors, mm.

Actual accumulated fodder amount at separate fodder feeding stations, except the last, is

$$m_{fp} = \frac{m_p}{\sigma}, \quad (1.16)$$

- where m_{fp} – actually possible fodder amount, kg;
 m_p – actually consumed and delivered fodder amount at the last feeding station, kg.

Actually consumed fodder amount at the last feeding station can be calculated using AMS management system ALPRO computer programme.

The error occurring at one of fodder stations can be calculated using formula

$$\lambda = \frac{m_{izsn} - m_{fp}}{m_{fp}} \cdot 100 \quad (1.17)$$

where m_{izsn} – the biggest served fodder amount that is shown by computer at one of the fodder serving stations, kg.

Analysing previously developed connections we can conclude that fodder transporter troubleproof operation will be ensured if formulas (1.18) and (1.19) are observed

$$(V_c - V_{sp}) \cdot \Delta < V_{st} \quad (1.18)$$

$$\frac{V_{st}}{V_p} < \frac{l_u}{l_s} \quad (1.19)$$

From the formula (1.19) it follows that the fodder amount between the last and the previous feeding station has to be smaller than inter-sensor part capacity in the fodder storing container of the last station.

2. EXPERIMENTAL STUDIES ON FODDER DISTRIBUTION

In order to solve problems mentioned in Chapter 1 and connected with fodder distribution line rational usage and ensuring troubleproof operation, experimental studies were conducted including studies of physical mechanical peculiarities of transported fodder and fodder distribution line operation in laboratory and operation circumstances.

2.1. Fodder transporters experimental studies in laboratory circumstances

The aim of these studies was to find the fodder transporter productivity and drive capacity depending on their placement incline (load lifting angle), in order to compare theoretical and experimental research results and thus to verify that theoretical results were correct.

The set of equipment used for studies initially was meant for precise feeding of milking cows on cattle farms, where the robotised milking equipment is used. In order to adapt it to laboratory studies we added to the transporter a transformable support construction and dynamometric sensor for registration of transporter shaft torsional moment with the help of computer.

Support construction ensured easy reassembly of transporter to a desired placement incline and adding to it additional sinuous sections.

Dynamometric sensor was constructed independently, calculating its power in torsion. It was made in local workshops, attaching tensor resistors for

estimation of torsional moment (Fig. 2.1.). For measurement registration the computer programme *PicoLog* was used.

Studies took place in laboratories of LUA Technical faculty Institute of Agricultural Machinery.

It was possible to operate the transporter used for experiments both in a spiral transporter mode, and in worm transporter mode, and also change fodder lifting angle and turn the transporter for 90°.

2.2. Transporter torsional moment studies

Experimental study results testify that the spiral transporter torsional moment is not a constant value. When switching on transporter torsional moment increases till 10-12 times, because it have to overcome not only spiral friction forces, but also inertia forces. Though, this period lasts only for 10 milliseconds. After that torsional moment is getting stable. However, its insignificant fluctuations can be observed also afterwards and they are connected with flexible spiral deformations. In our further researches we have used average values of torsional moment in its stable phase.

The Table 1.1 shows transporter torsional moment changes depending on its assembly peculiarities (placement incline and curve), and also pellets properties (diameter and humidity).

According to these studies specific values of factors influencing spiral transporter torsional moment are calculated. Thus transporter torsional moment using pellets with diameter 4 and 6 mm is calculated according to empirical expression

$$M_{\alpha} = M_0 + k_{\alpha} \cdot \alpha + k_w \cdot \Delta w + k_{\delta m} \cdot k_{\delta \%} \cdot l_{tr} + M_{45} \cdot n_{45}, \quad (2.1)$$

- where
- M_{α} – calculated spiral transporter torsional moment, depending on particular situation, Nm;
 - M_0 – torsional moment of horizontally placed and straight (unsinuous) spiral transporter, transporting pellets, humidity of which does not exceed 9%, and fragmentation of which does not exceed 5.5%, Nm;
 - Δw – percent of transported pellets humidity increase above 9%;
 - l_{tr} – length of transporter straight part, m;
 - n_{45} – number of 45° turns added to transporter, pcs.

These studies testify that spiral transporter torsional moment will be minimal, if we use as dry pellets as possible with diameter 6 mm (not 4 mm), moreover the transporter should be assembled if possible without turns and great rises.

Table 2.1

Factors influencing spiral transporter torsional moment increase, using Delaval company spiral fodder transporter with inner diameter of the casing pipe 100 mm, $R^2=0.95$

Factor	Designations	Unit of measure	Size if pellets diameter is	
			4 mm	6 mm
Transporter placement incline angle, degrees	k_{α}	Nm grādu ⁻¹	0.092±0.01	0.09±0.01
Added 45° turn	M_{45}	Nm	0.16±0.02	0.25±0.015
Pellets humidity increase above 9%	k_w	Nm % ⁻¹	0.0169±0.0032	0.033±0.0035
Pellets fragmentation increase, calculating per 1m of transporter length	$k_{\delta m}$	% m ⁻¹	0.50	0.42
Pellets fragmentation influence on spiral transporter torsional moment	$k_{\delta\%}$	Nm % ⁻¹	0.196	0.182

2.3. Transporter work productivity studies

During studies changes in transporter work productivity were determined depending on its placement incline.

It was stated that theoretically calculated and experimentally obtained results for the spiral transporter correspond with preciseness of 0.02 t h⁻¹, but for the worm transporter till the 40 degrees rise these results are similar, but at the 50 degrees rise there is an error of 0.17 t h⁻¹.

2.4. Fodder transporters experimental studies in operation circumstances

The aim of experimental studies is to determine fodder distribution line operational capability on milking cow farms, where the robotised cow milking is introduced.

Studies were conducted on the milking cow farm „Līgotnes” of LUA study and research farm Vecauce, where the robotised milking machine VMS produced by the company *Delaval* is used for separate cow group milking.

First, it was stated that the load at separate fodder stations is uneven (Fig. 2.6), and the smallest feed consumption is at the last station (11.3% of the total amount), to which the transporter automatic sensors of switching on and off. Therefore it becomes possible that there occur situations when containers of the first and second feeding stations are empty, i.e. without fodder, but the

last station still is full. If in such a situation cows visit empty feeding stations, the computer sends to these stations information about feed serving, but actually it is not realised.

According to the results of processing data accumulated in *VMS ALPRO* programme, we found out the actual amount of served feed at the fifth station, and also the total fodder consumption amount.

Therefore using herd management system and previously obtained formulas (1.3 – 1.13), we have calculated the maximal possible fodder amount that can be delivered to each feed serving station.

From the Figure 2.7. it is obvious that on separate days fodder consumption at feeding stations exceeded the shown maximal border value. Therefore on those days the necessary fodder amount was not ensured at the corresponding stations, as the supply transporter did not deliver it in a sufficient amount.

Making a more detailed analysis of this research using the mathematical substantiation provided in subchapter 1.7, we can come to a conclusion that there are several possible solutions to prevent this problem.

1. To reduce the distance between fodder transporter switching off and switching on sensors for 15-20%.
2. To increase the length of fodder storing pipes for 20%, i.e. for 50 cm.
3. To replace fodder storing pipes (containers) of the first and second dosimeter with pipe (containers) of the bigger diameter, which, for example, are used in robotised cow milking stands.
4. Fodder supply to cow feeding stations from the opposite side, i.e. starting with the last station.

3. FEED MIXTURES PREPARATION AND DISTRIBUTION STUDIES

The aim of this chapter is to obtain the information on the most widely used in practice technological feed mixture preparation and distribution solutions for animal feeding at the feeding table on robotised milking cow farms, and also to determine the operational parameters of the corresponding technological equipment.

As basic places for operation studies we have chosen five Latvian farms, where different feed mixture preparation and distribution technologies are used. The herds of the chosen farms have from 71 to 598 milking cows. On all farms we have measured the distances of mobile units' movements, conducted the timing of the working process, separately selecting feed loading and mixture preparation, passages with the load, feed distribution and idle passages.

Timing data (Fig. 3.1.) show that loading the prepared silage in trenches, the work productivity for different technological variants was from 11.4 to 17.3 t h⁻¹.

The exception is RTF Vecauce, where this working productivity has achieved 45.6 t h^{-1} . The reason for this is that on RTF Vecauce they use silage loading forks without knives and therefore feed is taken from the pile in a big piece. But such way of loading is not recommended as because of it silage left in storage rots (Geringhausen, 2004).

After mathematically processing timing data (Fig. 3.2.) we see that the robot used on the farm Dukāti for feed distribution spends comparatively much time in order to serve the feed mixture amount envisaged for each cow group (it takes 39% of the total time cycle).

If in its turn we use the feed agitator distributor of automotive type (farm Kalna Dambrāni), then the biggest time consumption is for feed mixing process (respectively 39%), but the second biggest time consumption is connected with passages (31%).

If two tractors are used for feed distribution (RTF Vecauce), one working as feed agitator distributor, but the other works with fodder loader, then the biggest time consumption is for feed loading as it takes 34% of total time spent on feed distribution.

Analysing the feed distribution process on LLC Agro Kaķenieki we can see that 43% of total time is spent on passages.

The average speed of feed distribution units is from 4.9 to 6.2 km h^{-1} , but during feed distribution – from 0.49 to 1.21 km h^{-1}

4. ECONOMICAL EVALUATION OF FEED DISTRUBUTION TECHNOLOGY

Each farm is unique as its work organisation realising the feed distribution depends on used technology, geographical circumstances, and other circumstances characterising a particular situation. Therefore for further studies we have selected seven basic technologies used in practice (Table 4.1).

For all these basic technologies the specific costs and specific labour-intensities were calculated, constructing a mathematical model according to the scheme provided on Fig. 4.1.

Mathematical model of economic calculations constructed in *Matlab Simulink* computer programme. The model takes into consideration herd changes (from 50-600 cows), cow division into several feeding groups depending on their milk yield, and also feed serving frequency – using mobile distributors – twice a day, but using feed distribution robots – five times a day.

The necessary input data were obtained from feed mixture preparation and distribution technologies timing results summarized in Chapter 3. Calculation results are seen on Figures 4.2. and 4.3.

As it is seen on the Figure 4.2. the specific labour-intensity necessary for feed mixture preparation and distribution depends on the technological variant and the number of cows. The bigger is the number of cows, the smaller is the work consumption of workers calculating per on cow. The work consumption

using robotised feed distribution for the herd of 300 cows is approximately 5 times smaller than using tractor traction distributors.

Table 4.1

Characteristics of basic technologies

Technology No.	Mixture preparation	Mixture distribution	Fodder distribution	Number of workers
A	Tractor unit, at the front of which the scoop with passive knives is attached, but behind a feed agitator distributor is hooked. During silage loading the tractor is unhooked from agitator distributor. Fodder is added to the mixture.			1
B	All feed mixture preparation and distribution operations are performed by an agitator distributor of automotive type. Fodder is added to the mixture.			1
C	Tractor unit with hooked feed agitator distributor. For silage loading a separate tractor unit is used, which has a scoop with passive knives. Fodder is added to the mixture.			2
D1	Feed robot refilled from the stationary dosimeter containers. Forage plants feed are delivered to dosimeter containers by tractor unit, which has 1.5 m ³ capacity scoop		In the cattle-shed fodder distribution stations are organised.	1
D2			Fodder is included into feed mixture	1
E1	Mobile traction agitator distributors.	Feed robot, which is refilled from the stationary dosimeter containers	In the cattle-shed fodder distribution stations are organised.	1
E2	Separate silage loader			

Specific operation costs of feed mixture preparation and distribution are shown on the Figure 4.3.

Researches testify that the cheapest feed mixture preparation and distribution variant depends on the cow herd size. If on the farm there are up to 375 cows, then economically the most profitable is the basic technology A, for realisation of which one tractor is necessary equipped with feed loader and hooked agitator distributor, but if there are more cows – then more suitable is the basic technology B, when for feed distribution the automotive unit is used. In its turn the use of the feed robot two times increases specific operation cost.

But situation is not so favourable if the salary of workers increases, reaching EUR 10 h⁻¹, as it happens in West European countries. In this case the determining factor is the number of people involved in technology realisation. The smaller is the number, the more profitable is the technology. Therefore for

cow herds from 100 to 220 cows it is more profitable to use feed distribution robot, but for a bigger number of cows – agitator distributor of automotive type.

Therefore we can predict that in future with the increase of the living standard of population, on milking cow farms with the herd size not exceeding 250-300 cows there will dominate robotised and automatized technology use.

CONCLUSIONS

1. On milking farms, where the robotised milking is introduced, the fodder is added to the basic feed mixture, which is fed at the feeding table, and it is also fed in the robotised milking stand as it stimulates cows to go to milking on their own and helps to achieve animals' potential productivity, but if cows milking yields exceed 30 l per day, then the fodder is also fed at specially organised stations.
2. The spiral transporter used for the fodder transportation from the storage container to the fodder feeding places ensures an effective feed movement till 30° big rise. If the necessary lift angle is bigger, than for this purpose the worm transporter should be used or the transporter construction should be improved in order it would work as a spiral transporter on the incline section, but in place of the turn and on horizontal section – as a spiral transporter.
3. The spiral transporter work productivity changes in direct proportion to the transporter filling coefficient. Operating in horizontal placement, the filling coefficient is 0.82-0.84, but if transporter placement incline (rise) reaches 30°, then the filling coefficient is 0.55.
4. The torsional moment of the transporter drive depends on transporter assembly peculiarities and feed physical mechanical peculiarities. If the transporter placement incline angle increases from 0° till 15°, the torsional moment increases 1.2-1.5 times. If, in its turn the 45° turn is attached to the transporter, the torsional moment increases for 30-40%, but if pellets humidity increases from 9% to 18%, then this torsional moment increase is 100%.
5. Assembling fodder distribution line that includes several fodder feeding stations it is not desirable that at the last station, to which the automatic transporter switching on and switching off sensors are attached, the fodder consumption is lower than at other fodder feeding stations, as it can cause troubles in the spiral transporter switching automatics operation. If this condition is not possible to realise, then when assembling the line it is necessary to take into consideration the mathematical connection provided in Chapter 2.
6. The work productivity of mobile tractor traction fodder agitators-distributors operation is from 3.9 to 6.6 t h⁻¹, but for units of automotive type it reaches 17–18 t h⁻¹. Most significantly this work productivity is influenced by the feed loading productivity (by 50%), and also by the

- mixing time (20%). In its turn the average units movement speed going with the load and idle is between 4.9 and 6.2 km h⁻¹, but during the feed distribution – between 0.49 and 1.21 km h⁻¹.
7. The methods and the mathematical model for the mutual comparison of the feed mixture preparation and distribution technological variants by their specific labour-intensity, hum.h cow⁻¹ per year, and specific operation costs, EUR cow⁻¹ per year are developed.
 8. The specific labour-intensity of the feed mixture preparation and distribution is influenced both by the used technological variant and the cow herd size. Using feed distribution robots, the specific labour-intensity does not exceed 0.9 hum.h cow⁻¹ per year, using the automotive units - 1.5-3.0 hum.h cow⁻¹ per year, but using tractor traction units – 2.5-7.5 hum.h cow⁻¹ per year. If the herd size increases from 100 to 500 cows, then the specific labour-intensity decreases 1.5-2 times.
 9. Assessing specific operation costs, on farms with 100 to 375 cows it is sensible to use such feed mixture preparation and distribution technologies, with which all work operations are performed by one person (mobile unit driver), but at the bigger cow amount it is economically profitable to use automotive units.
 10. The use of feed robots comparing to mobile units increases specific feed mixture preparation and distribution costs 1.5-2.0 times, but they become competitive if the salary of cattle-breeding workers increases to EUR 10 h⁻¹, as it is in developed West European countries.

INFORMĀCIJAS AVOTI

(SOURCES OF INFORMATION)

1. Григорьев А. М. Винтовые конвейеры. Moscow 1972, 180 pp.
2. Мелников С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. М: Колос, 1978, 560 p.
3. Minkin, A., Katterfeld, A., Gröger, T.: The Usage of the Discrete Element Method in Conveyor Technology: Screw Conveyors and Shaftless Screw Conveyors; Bulk Solid Handling, Vol. 27 (2007) No. 2 27 p.
4. Uzklīņģis G. Gliemežkonvejēru aprēķins. Jelgava 1995. - 42 p.
5. Larson R., Edwards BH. Calculus of a single variable, USA, 2008. 761 p.
6. Salinš A., Priekulis J. Research in mixed feed distribution line on Latvia university of agriculture training and research milk farm Vecauce. /8th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, 2009. – p. 32-37. In data base: AGRIS; CAB Abstracts; EBSCO Academic Search Complete, Web of Science. Available: http://tf.llu.lv/-conference/proceedings2009/Papers/05_Ansis_Salins.pdf.
7. Gerighausen H. Technik der Grobfuttermvorlage. //BauBriefe Landwirtschaft 44. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup, 2004. -22.-24.S.

