LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
INFORMĀCIJAS TEHNOLOĢIJU FAKULTĀTE
DATORU SISTĒMU KATEDRA

Aleksejs Zacepins

UZ MODEĻIEM BALSTĪTA DAUDZOBJEKTU BIOSISTĒMAS PRECĪZĀ DATORVADĪBA

Promocijas darbs doktora grāda ieguvei
Informācijas tehnoloģiju nozarē
(Dr.sc.ing.)

Promocijas darba izstrāde un noformēšana līdzfinansēta no Eiropas Savienības Sociālā fonda

Promocijas darba zinātniskais vadītājs: Dr.sc.ing., Asoc.profesors **Egils Stalidzāns**

Promocijas darbu izstrādāja: Doktorants **Aleksejs Zacepins**

JELGAVA
2013

VISPĀRĪGĀ INFORMĀCIJA

Darba izpildes vieta: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Informācijas tehnoloģiju fakultāte, Datoru sistēmu katedra, Lielā iela 2, Jelgava, Latvija.

Eksperimentālā darba izpildes vieta

1. Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Informācijas tehnoloģiju fakultāte, Vadības sistēmu katedra, Lielā iela 2, Jelgava, Latvija.
2. Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Agrobiotehnoloģijas institūts, Strazdu iela 1, Jelgava, Latvija.
3. Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Bišu ziemotavas ēka, Strazdu iela 1, Jelgava, Latvija.

Promocijas darba zinātniskais vadītājs: Dr.sc.ing., Asoc. profesors Egils Stalidzāns.

Zinātniskā darba aprobācija: promocijas darba izstrādes laikā ir publicēti 10 zinātniskie raksti, no kuriem 9 ir vispāratzītos recenzējamos izdevumos. Par darba rezultātiem ir ziņots 12 starptautiskās zinātniskās konferencēs, kuras notika Latvijā, Lietuvā, Čehijā, Slovākijā, Ungārijā, ASV un Gruzijā.

Publikācijas vispāratzītajos recenzējamos zinātniskos izdevumos

1. Komasilovs, V, **Zacepins, A.**, Arhipova, I., Odzina, I. (2010) Implementation of HACCP procedure using WEB based information system prototype. In: *Proceedings of the 4th International Scientific Conference "Applied Information and Communication Technologies" (AICT 2010)*, Jelgava, Latvia, p. 263–270. (Indeksēts WEB of Knowledge datubāzē).
2. **Zacepins, A.**, Meitalovs, J., Stalidzans, E. (2010) Model based real time automated temperature control system for risk minimization in honey bee wintering building. In: *Proceedings of the 8th International Industrial Simulation Conference (ISC 2010)*, Budapest, Hungary, p. 245–247. (Indeksēts WEB of Knowledge un INSPEC datubāzēs).
3. **Zacepins, A.**, Meitalovs, J., Komasilovs, Vitalijs, Stalidzans, E. (2011) Temperature sensor network for prediction of possible start of brood rearing by indoor wintered honey bees. In: *Proceedings of the 12th International Carpathian Control Conference (ICCC 2011)*, Velke Karlovice, Czech Republic, p. 465–468. (Indeksēts SCOPUS un IEEE xplore datubāzēs).
4. Pentjuss, A., **Zacepins, A.**, Gailums, A. (2011) Improving precision agriculture methods with multiagent systems in Latvian agricultural field. In: *Proceedings of the 10th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development"*, Jelgava, Latvia, p. 109–114. (Indeksēts WEB of Knowledge un SCOPUS datubāzēs).
5. **Zacepins, A.** (2011) Architecture of an adaptive automatic control system for bioprocess control in closed environment. In: *Proceedings of the 5th International Scientific Conference „Rural Development 2011"*, Kaunas, Lithuania, p. 474–478. (Indeksēts WEB of Knowledge datubāzē).
6. **Zacepins, A.** (2012) Application of bee hive temperature measurements for recognition of bee colony state. In: *Proceedings of the 5th International Scientific Conference "Applied Information and Communication Technologies" (AICT 2012)*, Jelgava, Latvia, p. 216–221. (Indeksēts WEB of knowledge datubāzē).

7. **Zacepins, A.**, Stalidzans, E. (2012) Architecture of automatized control system for honey bee indoor wintering process monitoring and control. In: *Proceedings of the 13th International Carpathian Control Conference (ICCC 2012)*, Podbanske, Slovakia, p. 772–775. (Indeksēts SCOPUS un IEEE xplore datubāzēs).

8. **Zacepins, A.**, Karasha, T. (2012) Web based system for the bee colony remote monitoring. In: *Proceedings of the 6th International Conference "Applied Information and Communication Technologies" (AICT 2012)*, Tbilisi, Georgia, p. 155–158. (Indeksēts SCOPUS un IEEE xplore datubāzē).

9. **Zacepins, A.**, Stalidzans, E., Karasha, T. (2013) Profitability ranking of precision agriculture measurement systems implementation. In: *Proceedings of the 12th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development"*, Jelgava, Latvia (accepted for publication). (Indeksēts WEB of Knowledge un SCOPUS datubāzēs).

Citas publikācijas

1. **Zacepins, A.**, Stalidzans, E., Meitalovs, J. (2012) Application of information technologies in precision apiculture. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Precision Agriculture (ICPA 2012)*, Indianapolis, USA. Paper number 1023.

Uzstāšanās starptautiskās zinātniskās konferencēs ar ziņojumiem

1. Temperature control system for risk minimization in honey bee wintering building. "*Applied Information and Communication Technologies (AICT 2010)*", April 22-23, 2010, Jelgava, Latvia.
2. Implementation of HACCP procedure using WEB based information system prototype. "*Applied Information and Communication Technologies (AICT 2010)",* April 22-23, 2010, Jelgava, Latvia.
3. Web based haccp information system prototype. „*Students on their way to science",* May 28, 2010, Jelgava, Latvia.
4. Model based real time automated temperature control system for risk minimization in honey bee wintering building. „*Industrial Simulation Conference (ISC 2010)"*, June 7-9, 2010, Budapest, Hungary.
5. Temperature sensor network for prediction of possible start of brood rearing by indoor wintered honey bees. „*12th International Carpathian Control Conference (ICCC 2011)*", May 25-28, 2011, Velke Karlovice, Czech Republic.
6. Application of Precision Agriculture Methods in Beekeeping. „*RTU 52. International Scientific Conference*", October 15, 2011, Riga, Latvia.
7. IT pielietojums bišu ziemošanas procesa vadībā un uzraudzībā. „*Pasaules Latviešu Zinātniskais Kongress (PLZK)",* October 24-27, 2011, Riga, Latvia.
8. Architecture of an adaptive automatic control system for bioprocess control in closed environment. „*Rural Development 2011"*, November 24-25, 2011, Kaunas, Lithuania.
9. Application of bee hive temperature measurements for recognition of bee colony state. "*Applied Information and Communication Technologies (AICT 2012)*", April 26-27, 2012, Jelgava, Latvia.
10. Architecture of automatized control system for honey bee indoor wintering process monitoring and control. „*13th International Carpathian Control Conference (ICCC 2012)*", May 28-31, 2012, Podbanske, Slovakia.

11. Application of information technologies in precision apiculture. *11th International Conference on Precision Agriculture,* July 15-18, 2012, Indianapolis, Indiana USA.

12. Web based system for the bee colony remote monitoring. 6th International Conference *"Applied Information and Communication Technologies 2012*", October 17-19, 2012, Tbilisi, Georgia.

Uzstāšanās citās konferencēs un semināros

1. „Programmējamais loģiskais kontrollers kā vadīšanas sistēmas smadzenes", LLU Biosistēmu grupas 40. seminārs, 2.decembrī, 2009.
2. „Risku analīzes un kritisko kontroles punktu metodoloģija", LLU Biosistēmu grupas 54. seminārs, 14. aprīlī, 2010.
3. „Sensoru tīkli", LLU Biosistēmu grupas 60. seminārs, 15. septembrī, 2010.
4. **„**Bišu ziemotavas attālinātas vadības sistēma", LLU ITF datorvadības grupas seminārs, Jelgava, Latvija, 2010. gada 10. maijs.
5. **„**Siemens PLK", LLU ITF datorvadības grupas seminārs, Jelgava, Latvija, 2010. gada 10. maijs.
6. **„**Bišu ziemošanas procesa uzraudzība un automatizēta vadība", LU un LMT Datorzinātņu dienas, „Ratnieki", Līgatnes novads, Latvija. 2011. gada 08.-10. augusts.
7. „Monitoring the bee colony activity in the honey bee wintering building", 2012 Nordic – Baltic Bee Research Symposium, Rīga, Latvija. 2012. gada 3.-5. februāris.
8. **„**Bišu saimju ziemināšana automatizētā ziemotavā", Latvijas Biškopības Biedrības pavasara konference, Rāmava, Latvija. 2012. gada. 17. marts.
9. **„**Precīzās lauksaimniecības pieeja bišu ziemināšanā", ceturtais viedo sensoru seminārs, Rīga, Latvija. 2012. gada 21. maijs.

Darbs akceptēts LLU Informāciju tehnoloģijas fakultātes Datoru sistēmu katedras paplašinātajā akadēmiskajā sēdē 2012. gada 30. novembrī. **Protokols Nr. 4.**

Autora pētījums veikts ar Eiropas Sociālā Fonda apakšaktivitātes „Atbalsts doktora studiju programmu īstenošanai" projekta „Atbalsts LLU doktora studiju īstenošanai" mērķfinansējuma atbalstu.

Vienošanās Nr. 2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017.

ANOTĀCIJA

Alekseja Zacepina promocijas darbs „**Uz modeļiem balstīta daudzobjektu biosistēmas precīzā datorvadība**” izstrādāts Latvijas Lauksaimniecības universitātes, Informācijas tehnoloģiju fakultātes, Datoru sistēmu katedrā laika periodā no 2009. gada septembra līdz 2012. gada septembrim.

Darba apjoms ir 152 lappuses, tas ietver 13 tabulas, 108 attēlus un 7 pielikumus. Darbā izmantoti 150 literatūras avoti, no kuriem 141 ir svešvalodā.

Promocijas darba mērķis ir uzlabot precīzās lauksaimniecības pieejas realizāciju izmantojot vairāku matemātisko modeļu sadarbību daudzobjektu biosistēmu datorvadībā.

Pētījuma mērķa sasniegšanai risināti vairāki uzdevumi

1. Izanalizēt sensoru tīklu un datorvadības realizācijas biosistēmu vadībā un precīzajā lauksaimniecībā.
2. Izanalizēt automatizētas vadības sistēmu izstrādes pamatprincipus biosistēmu vadībai.
3. Izstrādāt uz modeļiem balstītas automatizētas datorvadības sistēmas arhitektūru biosistēmu vadībai.
4. Izstrādāt individuālo bioloģisko objektu uzraudzības un vadības sistēmu precīzas datorvadības realizācijai bišu ziemināšanas procesā.
5. Eksperimentāli novērtēt izveidotās sistēmas pielietojamību bišu saimes stāvokļa novērtēšanai un vadībai ziemināšanas procesā.

Promocijas darba saturs: promocijas darba struktūra veidota atbilstoši pētījuma mērķim un uzdevumiem un veidota no **4** nodaļām.

Pirmajā nodaļā ir sniegts vispārīgs apraksts par datorvadības pielietojumu precīzajā lauksaimniecībā un biosistēmu vadībā. Ir minēts par sensoru tīklu pielietojumu bioloģiskās sistēmas uzraudzības uzdevumu veikšanai, kā arī ir ievads par promocijas darba praktiskās realizācijas problēmu – kas ir bišu ziemošanas procesa vadība un uzraudzība.

Otrajā nodaļā ir ietverta autora izveidotas uz vairāku matemātisko modeļu sadarbību balstīta vadības sistēmas arhitektūra bioloģisko procesu uzraudzības un vadības nodrošināšanai. Ir akcentēta uzmanība uz vairāku modeļu pielietošanu lēmuma atbalsta sistēmas darbības realizācijā.

Trešajā nodaļā detalizēti un secīgi ir aprakstīta bišu ziemošanas procesa vadības un uzraudzības uzdevuma realizācija.

Ceturtajā nodaļā ir apkopoti un analizēti eksperimentālie dati par bišu saimes uzvedību ziemošanas laikā. Ir novērtēta temperatūras mērīšanas sistēmas precizitāte un dots aprēķins sistēmas komerciālai ieviešanai.

Promocijas darba noslēgumā ir doti galvenie darba rezultāti, secinājumi un turpmākās darba attīstības perspektīvas.

ANNOTATION

Aleksejs Zacepins doctoral thesis „**Model based precision computer control of the multiobject biosystem**" had been developed in the period from September 2009 until September 2012 in Department of Computer Control of Faculty of Information Technologies, Latvia University of Agriculture.

The PhD thesis consists of 152 pages, which include 13 tables, 108 figures and 7 annexes. For the development of this paper 150 literature sources were used including 141 in foreign languages.

The aim of the thesis is to improve the implementation of Precision Agriculture approach using the integration of various mathematical models in computer control of a multiobject biosystem.

In order to achieve the aim of the PhD thesis several tasks were completed

1. Analyze the implementation of sensor networks and computer control in biosystem control and Precision Agriculture.
2. Analyze automatized control system development principles for biosystem control.
3. Develop a model based automatized computer control system architecture for biosystem control.
4. Develop an individual biological object monitoring and control system for Precision Agriculture realization for the honey bee wintering process.
5. Evaluate usability of the developed system for the bee colony state evaluation and control during the wintering process.

The content of the PhD thesis: it is structured according to the aim and the tasks of PhD thesis consisting of 4 chapters.

First chapter includes analysis of the application of computer control in Precision Agriculture and in biosystem control. The methodology for the application of the sensor network for biological system monitoring is provided. This chapter also provides introduction to practical work problematic.

Second chapter includes description of the author developed model based control system architecture for the biological process monitoring and control. It emphasizes the focus on application of various multi-dimensional models for the decision support system realization.

Third chapter includes detailed and sequent description of the bee wintering process control and monitoring task completion.

In fourth chapter experimental data of the bee colony behavior during the wintering process is summarized and analyzed. The precision of the bee colony temperature measurement system is evaluated. Calculations for commercial deployment of the system are provided.

The main results, conclusions and future development prospects are described in the conclusion of the PhD thesis.

АННОТАЦИЯ

Докторская диссертация **Алексея Зацепина «Основанное на моделях точное компъютерное управление многообъектной биологической системой»** разработана на Кафедре компъютерных систем Факультета информационных технологий Латвийского сельскохозяйственного университета в период времени с сентября 2009 года до сентября 2012 года.

Объем работы – 152 страницы, включая 13 таблиц, 108 иллюстраций и 7 приложений. В работе использовались 150 источника литературы, в том числе 141 источников на иностранных языках.

Цель докторской диссертации –.улучшение подхода точного сельского хозяйства, используя взаимодействие множества математических моделей в компъютерном управлении многообъектной биологической системой.

Для достижения цели докторской диссертации решались несколько задач:

1. Проанализировать реализацию управления биологическими системами точного сельского хозяйства, используя сенсорные сети и компъютерное управление.
2. Проанализировать основные принципы разработки систем для управления биологическими системами.
3. Разработать, основанную на моделях, архитектуру автоматизированной системы компъютерного управления биологическими системами.
4. Разработать систему наблюдения и управления индивидуальными биологическими объектами для реализации точного компъютерного управления процессом зимовки пчел.
5. Экспериментально оценить применение разработанной системы для оценки состояния пчел и управлениея процессом зимовки.

Содержание докторской диссертации: работа структурирована в соответствии с целью и задачами и состоит из 4 глав.

В **главе I** представлено общее описание использования компъютерного управления биологическими системами в точном сельском хозяйстве. Упоминается об использовании сенсорных сетей для решения задач наблюдения за биологическими системами. Также представлена проблематика практической части диссертации – наблюдение и управление процессом зимовки пчел.

Глава II включает в себя созданную автором, основанную на взаимодействии множества математических моделей архитектуру системы управления для наблюдения и управления биологическими процессами. Акцентировано внимание на использование множества моделей для реализации системы поддержки принятия решений.

В **главе III** детально и по шагам описана реализация задачи по наблюдению и управлению процесом зимовки пчел.

В **главе IV** обобщены и проанализированы экспериментальные данные о поведении пчел во время зимовки. Проведена оценка точности системы измерения температуры и дан расчет коммерческого внедрения системы.

В конце докторской диссертации изложены основные результаты работы, выводы и дальнейшие перспективы развития.

SATURS

IEVADS 17
1. DATORVADĪBAS PIELIETOJUMS PRECĪZAJĀ LAUKSAIMNIECĪBĀ 22
1.1. Sensoru tīkla jēdziens 24
1.1.1. Sensoru tīklu attīstības etapi 26
1.1.2. Sensoru tīklu lietojuma sfēras 28
1.2. Precīzā biškopība 36
1.2.1. Bišu saimes novērošanas metodes 38
1.2.2. Bišu ziemošanas procesa vadība 45
1.2.3. Aptauja par precīzās biškopības tehnoloģijas aktualitāti 48
2. AUTOMATIZĒTAS VADĪBAS SISTĒMAS ARHITEKTŪRA PRECĪZAI BIOSISTĒMU VADĪBAI 50
2.1. Mikroklimata vadības sistēma 57
2.2. Biosistēmas parametru mērīšanas sistēma 65
2.2.1. Precīzās lauksaimniecības sistēmu ieviešanas lietderības izvērtēšanas metodika 66
2.2.2. Metodikas izmantošanas piemērs precīzajā biškopībā. 67
2.2.3. Programma metodikas realizācijai 69
2.3. Lēmuma atbalsta sistēma 71
2.3.1. Lēmuma atbalsta sistēmas jēdziens 71
2.3.2. Modeļu sadarbības metodika lēmumu atbalsta sistēmās 72
3. DAUDZOBJEKTU BIOSISTĒMAS DATORVADĪBAS PRAKTISKĀ REALIZĀCIJA PRECĪZAJĀ BIŠKOPĪBĀ 77
3.1. Ziemotavas temperatūras automatizētā vadības sistēma 78
3.1.1. Bišu ziemotavas ēka 78
3.1.2. Ziemotavas vadības sistēmas realizācija 79
3.1.3. Attālinātā piekļuve un avārijas situācijas izziņošana 82
3.2. Bišu saimes temperatūras mērīšanas sistēma 87
3.2.1. Sensoru tīkla arhitektūra 88
3.2.2. Temperatūras mērījumu nolasīšanas process 90
3.2.3. Temperatūras mērījumu tīmekļa saskarne 92
3.3. Temperatūras mērījumu apkopošanas un analizēšanas rīks 96
3.4. Papildu datu iegūšana un analīze 97
3.5. Dažādu dimensiju modeļu lietojums bišu ziemošanas procesa laikā 98
3.5.1. Bišu saimes lieluma dinamikas modelis 98

3.5.2. Bišu saimes ziemas perošanas modelis 100
3.5.3. Bišu saimes barības patēriņa modelis 101
3.5.4. Bišu saimes spietošanas momenta modelis 103
3.5.5. Bišu saimes ienesuma potenciāla modelis 104
3.5.6. Daudzu dimensiju modeļu sadarbības realizācija 105
3.6. Lēmumu pieņemšanas algoritms bišu saimes ziemošanas procesa vadībai 106
3.7. Biškopja iesaiste lēmuma verifikācijā 110
3.8. Temperatūras vadības sistēmas mērķa temperatūras izmaiņas process 110
3.9. Sistēmas realizācija „N" bišu ziemotavās 110
4. BIŠU SAIMJU ZIEMINĀŠANAS VADĪBAS EKSPERIMENTI 112
4.1. Eksperimenta metodika 112
4.2. Bišu saimju temperatūras mērījumu apkopojums 113
4.3. Bišu saimes bojāejas identificēšana 114
4.4. Bišu saimes aktīva perošanas procesa identificēšana 115
4.5. Bišu saimes uzvedības vadība 115
4.6. Bišu saimju svēršanas eksperiments 117
4.7. Bišu saimju temperatūras mērīšanas sistēmas darbības novērtējums 118
4.8. Bišu ziemotavas siltumiekārtas jaudas aprēķins 121
4.9. Automatizētas bišu ziemotavas izmantošanas lietderības novērtēšana 123
4.10. Kompleksas sistēmas komerciālas ieviešanas lietderības analīze 124
SECINĀJUMI 127
Galvenie darba rezultāti 127
Secinājumi un attīstības perspektīvas 129
PATEICĪBAS 130
LITERATŪRAS SARAKSTS 131
PIELIKUMI 140
1. pielikums. Aptauja biškopības speciālistiem ar rezultātu apokopošanu 141
2. pielikums. Programmas MicroWin lietotāja saskarnes apraksts 146
3. pielikums. Programmas MicroWin navigācijas paneļa apraksts 147
4. pielikums. Viena temperatūras sensora d18s20 relatīvās kļūdas novērtējums 148
5. pielikums. Vairāku temperatūras sensoru d18s20 relatīvās kļūdas novērtējums 150
6. pielikums. Temperatūras sensora *d18s20* nolasīšanas ātruma novērtējums 151
7. pielikums. Temperatūras izmaiņas ziemotavas telpā 152

ATTĒLU SARAKSTS

1.1. att. Precīzās lauksaimniecības koncepcijas cikliskais attēlojums. 22
1.2. att. Precīzās lauksaimniecības uzdevumu risināšanas shēma. 23
1.3. att. *T. Ahonen* izstrādātā sensora mezgla attēlojums. 31
1.4. att. *T. Ahonen* izstrādāta sensora mezgla izvietojums siltumnīcā. 31
1.5. att. *Rinnovando* grupas izveidotā sensoru tīkla arhitektūra. 32
1.6. att. *Q. Zhang* izstrādātās siltumnīcas uzraudzības sistēmas arhitektūra. 33
1.7. att. *D. Stipanicev* izstrādātais eksperimentālais siltumnīcas modelis. 34
1.8. att. A. Bauma izveidotā monitoringa sistēmas arhitektūra. 35
1.9. att. Lūšu apkakles iekārta. 35
1.10. att. Biškopības vieta Latvijas lauksaimniecības nozaru struktūrā. 36
1.11. att. Temperatūras sadalījums bišu stropā. Infrasarkanais attēlojums. 38
1.12. att. Bišu kamola kā siltumlauka attēlojums. Skats no sāniem. 39
1.13. att. Četru devēju grafiskais attēlojums ar temperatūras izmaiņām diennakts laikā. 39
1.14. att. *iButton* tipa sensors. 40
1.15. att. Bišu strops ar iebūvētiem temperatūras sensoriem. 40
1.16. att. Tipiskā 1-vada tīkla pieslēguma shēma ar trīs vadiem. 41
1.17. att. *O. Vornicu* izstrādātās sistēmas koncepcija 41
1.18. att. Pieci periodi ar vidēju bišu stropa temperatūru un ārējā gaisa temperatūru .. 42
1.19. att. J. Meitalova izstrādātās sistēmas koncepcija. 42
1.20. att. Bišu stropu infrasarkanais attēlojums. 43
1.21. att. *S. Ferrari* eksperimenta konfigurācija. 44
1.22. att. *J. Campbell* video novērošanas sistēmas konfigurācija. 44
1.23. att. Kanādā realizētā bišu ziemotava ar vadāmu mikroklimatu. 47
2.1. att. Četru vadības jēdzienu savstarpējās attiecības. 50
2.2. att. Vienkāršā automatizētās vadības sistēmas arhitektūra. 51
2.3. att. Mūsdienīga automatizētās vadības sistēmas arhitektūra. 52
2.4. att. CVS realizācijas shematisks attēlojums. 55
2.5. att. Mikroklimata parametru saistība ar bioobjekta iekšējiem parametriem. 55
2.6. att. Slēgtā telpā notiekoša bioloģiska procesa adaptīva, sadalīta vadības sistēmas arhitektūra. 56
2.7. att. Automātiskās vadības sistēmas koncepcija. 57
2.8. att. Mikroklimata vadības sistēmas struktūra. 58
2.9. att. Adaptīvas automātiskās vadības sistēmas funkcionālā shēma. 59
2.10. att. *E. Petre* izveidotā adaptīvas sistēmas struktūra bloku diagrammas veidā. 60
2.11. att. AVS klasifikācija pēc vairākām pazīmēm. 61
2.12. att. Siltumnīcas mikroklimata vadīšanas uzdevuma sadalījums. 62
2.13. att. Tipiskā PLK uzbūves shēma. 65
2.14. att. Biosistēmas parametru mērīšanas sistēmas struktūra. 65
2.15. att. Lauksaimniecības objektu mērsistēmas ieviešanas investīciju atmaksas aprēķināšanas algoritma blokshēma. 66
2.16. att. Metodikas realizācijas programmas notikumu saraksta bloks. 69

2.17. att. Metodikas realizācijas programmas mērsistēmu saraksta bloks. 70
2.18. att. Metodikas realizācijas programmas sistēmu IAK bloks. 70
2.19. att. Klasiskais lēmuma pieņemšanas procesa modelis. 72
2.20. att. PL uzdevumu modeļu bāzētas risināšanas shēma. 72
2.21. att. Autora piedāvātais lēmuma pieņemšanas procesa modelis..... 73
2.22. att. Lēmuma pieņemšanas procesa trīs līmeņi. 74
2.23. att. Slēgtās biosistēmas vadības darbības shēma. 75
3.1. att. Izstrādāta bišu ziemošanas procesa vadības sistēmas arhitektūra. 77
3.2. att. Bišu ziemotava (skats no priekšas (A) un skats no aizmugures (B)). 78
3.3. att. Bites siltuma jaudas lieluma atkarība no apkārtējās vides temperatūras..... 79
3.4. att. *Siemens S7-200, CPU 224XP PLK* (skats no augšas). 79
3.5. att. Recirkulācijas ventilators *JM Aerofoil*. 79
3.6. att. Dzesēšanas ventilators *HJBPA*. 80
3.7. att. Svaiga gaisa ventilators. 80
3.8. att. *VEAB* kompānijas sildītājs. 80
3.9. att. Temperatūras sensors *Siemens Sitrans TF2*. 80
3.10. att. Autonomā dzesēšānas sistēma. 80
3.11. att. Ziemotavas tehniskais izpildījums. 81
3.12. att. Ziemotavas temperatūra 2010.gada decembrī. 82
3.13. att. Attālinātas pieejas konceptuālā shēma. 83
3.14. att. Vadības sistēmas attālinātas pieejas konceptuālā shēma. 84
3.15. att. Kļūdu paziņošanas sistēmas koncepcija. 84
3.16. att. Vadības sistēmas risinājums kļūdu paziņošanai. 85
3.17. att. *CP243-1* IT bloka frontālais skats ar *LED* indikāciju. 85
3.18. att. Kļūdu paziņošanas un tehnisko bojājumu sistēmas realizācija. 86
3.19. att. Temperatūras sensora izvietojums bišu stropā (shematiskais attēlojums). 87
3.20. att. Temperatūras sensora reālais izvietojums bišu stropā. 87
3.21. att. Potenciālais bišu saimes aktivitātes palielinājums. 88
3.22. att. Temperatūras sensors *ds18s20*. 88
3.23. att. Temperatūras sensora reālais izpildījums. 88
3.24. att. Virknes 1-vadu interfeiss *Temp08*. 89
3.25. att. Bišu saimes temperatūras sensoru tīkla realizācija. 89
3.26. att. Rezerves temperatūras mērīšanas iekārta ar pieslēgtiem sensoriem. 89
3.27. att. Bišu ziemotava ar temperatūras mērīšanas sistēmu 90
3.28. att. Bišu saimes temperatūras mērīšanas programmatūras konceptuālā shēma. .. 90
3.29. att. Tīmekļa sistēmas prototips. 93
3.30. att. Tīmekļa saskarnes logs ar temperatūras mērījumiem. 94
3.31. att. Tīmekļa saskarnes logs ar atskaitēm. 94
3.32. att. Tīmekļa saskarnes logs ar sistēmas uzstādījumiem. 95
3.33. att. Bišu saimju temperatūras mērīšanas kopējā sistēmas struktūra. 96
3.34. att. Iegūtie dati no datubāzes. 97
3.35. att. *Pivot* tabulas piemērs. 97
3.36. att. Bišu saimes dinamikas attēlojums. 100
3.37. att. Bišu saimes lieluma dinamikas modelis. 100

3.38. att. Bišu saimes perošanas kvalitatīva modeļa shematiskais attēlojums. 100
3.39. att. Bišu saimes ziemas perošanas modelis. 101
3.40. att. Bišu saimes barības patēriņa kvantitatīvā modeļa shematiskais attēlojums. 102
3.41. att. Bišu saimes barības patēriņa modelis. 102
3.42. att. Bišu saimes spietošanas momenta kvalitatīvā modeļa shematiskais attēlojums. 103
3.43. att. Bišu saimes spietošanas momenta modelis. 103
3.44. att. Bišu saimes ienesuma potenciāla kvalitatīvā modeļa shematiskais attēlojums. 104
3.45. att. Bišu saimes ienesuma potenciāla modelis. 104
3.46. att. Kompromisa modelis vēlamā bišu skaita analīzei salāgojot spietošanas risku ar vāju ienesumu saimju mazo izmēru dēļ. 105
3.47. att. Vairāku modeļu lietošana bišu saimes ziemošanas procesa vadībā. 106
3.48. att. Lēmuma pieņemšanas procesa modelis bišu ziemošanas procesam. 107
3.49. att. Lēmuma pieņemšanas shematiskais modelis. 108
3.50. att. Lēmuma pieņemšanas algoritms ziemotavas temperatūras maiņai. 108
3.51. att. Lēmuma pieņemšanas algoritms ziemošanas procesa beigšanai. 109
3.52. att. Lēmuma pieņemšanas algoritms avārijas situācijas noteikšanai. 110
4.1. att. Bišu stropu izvietojums zem nojumes. 112
4.2. att. Ziemotavā bez izolācijas ziemināto bišu saimju temperatūras dinamika..... 113
4.3. att. Ziemotavā ar izolāciju ziemināto bišu saimju temperatūras dinamika 113
4.4. att. Āra apstākļos ziemināto bišu saimju temperatūras dinamika 114
4.5. att. Bišu saimes bojāejas identificēšana pēc bišu radītā siltuma 114
4.6. att. Bišu saimes perošanas posma identificēšana pēc saimes temperatūras stabila pieauguma 115
4.7. att. Bišu saimju temperatūras reakcija uz ziemotavas temperatūras svārstībām 116
4.8. att. Bišu saimju temperatūras reakcija uz ziemotavas mikroklimata sistēmas atslēgšanu 117
4.9. att. Patērēta medus daudzums ziemotavā un ārā saimēm 2011.-2012. ziemošanas periodā. 118
4.10. att. Temperatūras dinamika bišu ziemotavā 2012.gada janvārī. 121

TABULU SARAKSTS

1.1. tabula. Sensoru tīklu galvenie atribūti 25
1.2. tabula. *Wlan, bluetooth* un *ZigBee* tehnoloģiju salīdzinājuma tabula..... 28
2.1. tabula. Precīzas biškopības sistēmu investīciju atmaksas koeficienti..... 69
3.1. tabula. Ziemotavas vadības sistēmas iekārtas..... 79
3.2. tabula. Attālinātas pieejas programmatūras īss salīdzinājums..... 83
3.3. tabula. Datubāzes tabulas „Sensori” struktūra..... 91
3.4. tabula. Datubāzes tabulas „Mērījumi” struktūra..... 91
3.5. tabula. Pieņemtie neatkarīgo un atkarīgo ieejas parametru apzīmējumi un to iespējamās vērtības Latvijas apstākļos..... 99
3.6. tabula. Modeļiem nepieciešamie dati..... 107
4.1. tabula. Masas izmaiņas tukšajā stropa ārā un ziemotavā 2011.-2012. ziemošanas periodā..... 117
4.2. tabula. Divu veida temperatūras sensoru mērījumu salīdzinājums..... 120
4.3. tabula. Siltuma caurlaidības koeficientu normatīvās vērtības 122
4.4. tabula. Ziemotavas elektrības patēriņš pa nedēļām (kWh)..... 125

Promocijas darbā izmantoto akronīmu un abreviatūru saraksts un skaidrojums

Akronīmi un abreviatūras	Skaidrojums
AVI (*ACD*)	Automātiskās vadības iekārta (*Automatic control device*)
AVO (*ACO*)	Automātiskās vadības objekts (*Automatic controlled object*)
AVS (*ACS*)	Automātiskās vadības sistēma (*Automatic control system*)
BST (*WSN*)	Bezvadu sensoru tīkls (*Wireless sensor network*)
CVS (*CCS*)	Centralizētā vadības sistēma (*Centralized control system*)
DB (*DB*)	Datu bāze (*Database*)
DIDV *SCADA*	Datu iegūšana un dispečeru vadība (*Supervisory Control and Data Acquisition*)
EEII (*IEEE*)	Elektrotehnikas un elektronikas inženieru institūts (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*)
ĢIS (*GIS*)	Ģeogrāfiskā informācijas sistēma (*Geographical information system*)
IKT (*ICT*)	Informācijas un komunikācijas tehnoloģijas (*Information and communication technologies*)
IT (*IT*)	Informācijas tehnoloģijas (*Information technologies*)
LBB (*LBA*)	Latvijas biškopības biedrība (*Latvian Beekeeping Association*)
PB (*PB*)	Precīzā biškopība (*Precision Apiculture, Precision Beekeeping*)
PL (*PA*)	Precīzā lauksaimniecība (*Precision Agriculture*)
PLK (*PLC*)	Programmējamais loģiskais kontrollers (*Programmable logical controller*)
PLSN (*SEPA*)	Precīzās lauksaimniecības sistēmu novērtētājs *(System Evaluator for Precision Agriculture)*
UMV (*UML*)	Unificēta modelēšanas valoda (*Unified modeling language*)
VO (*CO*)	Vadības objekts (*Controlled object*)
WWW (WWW)	Globālais tīmeklis (World Wide Web)

Promocijas darbā izmantoto tehnisko jēdzienu skaidrojums

Jēdzieni	Skaidrojums
Automātika	zinātnes un tehnikas nozare, kas aptver automātiskās vadības sistēmu teoriju, praksi un izveidošanas principus.
Precīzā biškopība	ir dravas vadības stratēģija, balstoties uz individuālas bišu saimes uzraudzību, ar mērķi minimizēt bišu saimes resursu patēriņu un maksimizēt bišu produktivitāti.
Precīza datorvadība	ar datora palīdzību veikta ražošanas vai tehnoloģiskā procesa vadība, balstoties uz procesā iesaistīto objektu individuālajiem mērījumiem.
Precīzā lauksaimniecība	integrēta lauksaimniecības sistēma, kas balstīta uz savlaicīgu un precīzu informāciju, kas ir nepieciešama visās ražošanas fāzēs.
Programmējamais loģiskais kontrollers	ir uz mikroprocesora bāzes veidota vadības ierīce, kas aizstāj automātiskās vadības shēmas, kuras agrāk tika būvētas, izmantojot relejus. PLK ir vadības iekārta, kas saskaņā ar uzdoto programmu, atkarībā no ieejas informācijas, vada procesu vai mašīnu.
Sensors	ierīce, kuras uzdevums ir noteikt kāda objekta fizikālo stāvokli (piemēram, drukāšanas galviņas novietojumu) vai tā fizikālo kvalitāti (piemēram, temperatūru) un pārveidot to datora ieejas signālā.
Sensoru tīkls	ir mazo, miniatūro elektronisko ierīču tīkls, kuri apmainās ar informāciju, izmantojot vadu vai bezvadu sakarus.
Vadības sistēmas arhitektūra	ir vadības sistēmas abstraktais attēlojums, kas ietver sevī sistēmas komponenšu (elementu) idealizētus modeļus, kā arī komponenšu mijiedarbības modeļus.

Promocijas darbā izmantoto biškopības zinātnes jēdzienu skaidrojums

Jēdzieni	Skaidrojums
Bišu māte	vienīgais bišu saimes sievišķais īpatnis, kurš spēj pāroties ar bišu vīrišķajiem īpatņiem (traniem) un radīt dzīvotspējīgus gan vīrišķos, gan sievišķos īpatņus.
Bišu peri	nepilnīgi attīstījušies bišu īpatņi, kuru attīstība ilgst no oliņas izdēšanas brīža līdz pieauguša īpatņa dzimšanai.
Bišu perošana	nākamās bišu paaudzes audzēšana ligzdā. Attiecināma uz bišu īpatņu attīstības stadijām, kuras ilgst no oliņas izdēšanas brīža līdz pieauguša īpatņa dzimšanai.
Bišu saime	bišu īpatņu kopums, kas sastāv no pieaugušiem īpatņiem – vienas bišu mātes, vairākiem desmitiem līdz vairākiem simtiem vīrišķo īpatņu jeb tranu un 10000 līdz 100000 darba bišu – un nepilnīgi attīstījušies bišu īpatņiem jeb periem.
Bišu saimes aktīvais periods	laika periods, kas ilgst no agra pavasara līdz rudens vidum. Šajā laika posmā bites izlido ārpus stropa un dabā uzņem barības līdzekļus, piemēram, ūdeni, putekšņus, nektāru.
Bišu saimes pasīvais periods	laika periods, kas ilgst no rudens vidus līdz agram pavasarim. Šajā laika posmā bites ārpus stropa neizlido un, patērējot ūdeni, medu un bišu maizi, saglabā bišu saimes fizioloģisko funkcionalitāti.
Bišu saimes spietošana	dabīgs jaunas bišu saimes veidošanās process, kad bišu saime sadalās divās daļās – daļa darba bišu ar jauno bišu māti paliek esošajā ligzdā, savukārt otra daļa ar veco bišu māti ligzdu pamet un meklē jaunu apmešanās vietu.
Bišu strops	cilvēka izgatavota bišu mājiņa.
Bišu ziemošana	nelabvēlīgu laika apstākļu pārvarēšana bišu saimēs, kas ilgst no rudens vidus līdz agram pavasarim. Atbilstoši vides apstākļiem un fizioloģiskajam stāvoklim bites veido kamolu un, patērējot medu (ogļhidrātus), nodrošina ligzdā nepieciešamo mikroklimatu.
Bišu ziemināšana	bišu saimju tradicionālā ziemošanas procesa aizvietošana ar iekštelpas ziemošanu.
Bišu ziemotava	telpa, kur ir izvietotas bišu saimes pasīvajā periodā. Var būt ar mikroklimata vadību vai bez tās.

IEVADS

Mūsdienās informācijas un komunikācijas tehnoloģijas (IKT) sniedz neaizstājamu atbalstu gan biznesā, gan lauksaimniecībā, gan ražošanā notiekošajiem procesiem. Informācijas tehnoloģiju un datorvadības straujā attīstība spēj nodrošināt, lai lauksaimniecības objekti (augi vai dzīvnieki) vai citi bioloģiskie objekti tiktu novēroti individuāli ar mērķi vadīt to attīstības procesus. Tas savukārt ļauj panākt efektīvu lauksaimniecības objektu vadību, ņemot vērā objekta uzvedību reālā laikā un ārējās vides parametrus. Tāda individuālo objektu vadība kļuva par pamatu jaunai starpdisciplinārai nozarei ar nosaukumu „precīzā lauksaimniecība" (no angļu val. *Precision Agriculture (PA)*).

Precīzās lauksaimniecības (PL) definīcija joprojām attīstās un pilnveidojas, jo tajā izmantojamās tehnoloģijas mainās, un cilvēka izpratne par to, kas ir teorētiski un praktiski sasniedzams, palielinās. Gadu gaitā definīcijas uzsvars ir mainījies no vienkāršas lauksaimniecības, sekojot augsnes īpatnībām (Robert, Stafford, 1999), uz komplicētāku, kur ir jau minēta gala produkta kvalitāte un ietekme uz vidi (McBratney et al., 2005).

Viena no vienkāršākajām definīcijām, kas atspoguļo PL būtību ir – darīt pareizo darbu pareizajā vietā un īstajā laikā (Bongiovanni, Lowenberg-DeBoer, 2004).

Precīzā lauksaimniecība ir konceptuāla sistēmas pieeja, kas ir izmantota, lai reorganizētu vairākas atsevišķas lauksaimniecības sistēmas ar mērķi padarīt lauksaimniecību ilgtspējīgu (N. Zhang et al., 2002).

Precīzo lauksaimniecību var definēt arī kā integrētu lauksaimniecības sistēmu, kas balstās uz savlaicīgu un precīzu informāciju, kas ir nepieciešama visās ražošanas fāzēs, sākot no lauksaimniecības stratēģijas, tehnoloģiju pielietojuma plānošanas, procesu modelēšanas un vadības, transporta loģistikas, līdz pat produkta realizācijai tirgū un ekoloģiskajiem aspektiem (Vilde et al., 2004).

Precīzā lauksaimniecība kā lauksaimniecības sistēma balstās uz datortehnikas lietošanu visdažādāko lauksaimniecības uzdevumu risināšanai.

Analizējot PL, var iedalīt trīs galvenos pamatmērķus:

- ražības palielināšana;
- izmaksu samazināšana;
- negatīvās ietekmes uz vidi samazināšana.

Precīzo lauksaimniecību var formulēt arī kā lauksaimniecības procesu vadību, lai sasniegtu iepriekš minētos trīs pamatmērķus. Kvalitatīva vadības sistēmu izstrāde ir pamats veiksmīgai PL sistēmas īstenošanai (Antamonov, 1977; Mihalik, 1980; Hansen, Andersson, 1995; Hansen, 1998).

Īstenojot PL pieeju savā saimnieciskajā darbībā, lauksaimniecības nozares speciālists (lauksaimnieks) ir spējīgs sasniegt galveno mērķi, tas ir - iegūt pēc iespējas augstākas kvalitātes produkciju, patērējot pēc iespējas mazāk resursu, kas nodrošina lielāku peļņu no saimnieciskās darbības. Lai to panāktu, ir nepieciešams nodrošināt auga vai cita objekta labvēlīgus augšanas apstākļus visos objekta attīstības vai augšanas posmos. Par labvēlīgiem apstākļiem tiek definēta situācija, kad lauksaimniecības objekts atrodas piemērotā attīstības vidē ar labvēlīgiem ārējās vides parametriem. Ietekmējošie parametri var būt gaismas daudzums un tās intensitāte, temperatūras un mitruma lielumi, augsnes ķīmiskais sastāvs un citi parametri. Gadījumā, ja notiek novirze no normāliem apstākļiem, ir nepieciešams koriģēt ārējos parametrus, lai process

atgrieztos pie lauksaimnieciskai darbībai vēlamiem apstākļiem. Vēlamie objekta augšanas parametri visos posmos parasti ir zināmi, ņemot par pamatu iepriekš veiktus eksperimentus vai paša lauksaimnieka pieredzi un zināšanas.

Lielākā daļa no lauksamniecībā notiekošiem procesiem ir bioloģiskie procesi (bioprocesi), kur ir iesaistīti daudzi savstarpēji saistīti objekti. Mūsdienās, realizējot parametru uzraudzību individuāliem objektiem, plaši tiek lietoti sensori vai mēriekārtas, kā arī sensoru tīkli, kuru uzdevums ir tieša informācijas savākšana un pārsūtīšana gala iekārtai, piemēram, datoram, iegūtās informācijas turpmākai apstrādei un analizēšanai. Pēdējā laikā bioprocesu uzraudzības un vadības problēmas ir uzskatāmas par svarīgām, tieši tāpēc tām pievērš uzmanību daudzi zinātnieki un pētnieki.

Būtisks un aktuāls ir riska faktors daudzobjektu bioprocesu vadībā, jo iepriekš apzinātie, korekti novērtētie un laicīgi novērstie riski ļauj minimizēt neprognozējamos zaudējumus. Uzraugot un vadot bioloģiskos objektus, ir jāņem vērā, ka neveiksmīgā vadības gadījumā būs ne tikai materiālie zaudējumi, bet arī dzīvu būtņu vai organismu bojāeja. Kā piemērus šādiem neveiksmīgiem gadījumiem var minēt pļavu pārpurvošanos neveiksmīgas meliorācijas dēļ, zivju skaita samazināšanos, barības apstākļu izmaiņu dēļ, mežu masīvu vadības neprognozējamas sekas, kaitēkļu apkarošanas pasākumi, vairāku bišu saimju bojāeja ziemošanas procesā. Bet tajā paša laikā šodien straujās datortehnoloģijas attīstības apstākļos ir vērojams augošs pieprasījums pēc šādām lietderīgām un racionālām bioloģisko objektu vadības sistēmām. Īpaši tas attiecas uz tādām nozarēm kā lauksaimniecība, pārtikas pārstrāde, biotehnoloģija un farmācija.

Šodien ražošanas un bioloģisko procesu automātiskā vadība veicina darba ražīguma paaugstināšanu, gala produkcijas kvalitātes uzlabošanu, izejvielu, materiālu un enerģijas patēriņa samazināšanu. Cilvēkam kļūst arvien sarežģītāk vadīt modernus ražošanas procesus, un nav iespējams sacensties ar iekārtu augsto ražīgumu un lielo operāciju izpildes ātrumu. Informācijas apstrādes un pārvaldes tehnoloģiju straujā attīstība dod iespēju ražošanu organizēt, izmantojot tikai automātisko vadību, kur visas operācijas izpilda iekārtas un cilvēkam jāveic tikai uzraudzības funkcijas.

Arī promocijas darba autors savā pētījumā pievēršas daudzobjektu bioprocesa vadībai. Promocijas darba nosaukumā lietots termins „precīzā datorvadība", kas ir definējams, ņemot par pamatu precīzās lauksaimniecības jēdzienu un pieeju, kur būtiski ir novērojumi par katru individuāli pētāmo objektu. Precīza datorvadība ir - ar datora palīdzību veikta ražošanas vai tehnoloģiskā procesa vadība, balstoties uz procesā iesaistīto objektu individuālajiem mērījumiem. Daudzobjektu biosistēmas precīzā datorvadība tieši norāda uz to, ka vairāki bioloģiskie objekti ir novēroti un vadīti individuāli ar IKT rīku palīdzību. Balstoties uz individuālā objekta uzvedības parametriem, ir izvēlēta vadības iedarbe uz objektu, ar galveno mērķi - neļaut būtisko parametru vērtībām iziet ārpus vēlamajai attīstībai piemērotām robežām, tādējādi nodrošinot ražošanai nepieciešamo objekta attīstību konkrētajā brīdī. Biosistēmu vadība, atšķirībā no tehnisku sistēmu vadības, daudzos gadījumos ir ievērojami sarežģītāka, jo bioloģiskās sistēmas ir pašregulējošas un citas regulēšanas sistēmas darbība var radīt darbības nestabilitāti, kas var izraisīt bioloģiskā objekta bojāeju.

Autora promocijas darbs ir izteikti starpdisciplinārais darbs, kur ir demonstrēts datorvadības iespējamais lietojums lauksaimniecības nozarē – biškopībā, sākot ar precīzās biškopības kā nozares definēšanu un beidzot ar konkrētām informācijas tehnoloģiju un datorvadības sistēmām, kas to var realizēt Darba laikā ir izvēlēts pētīt medus bišu (no latiņu val. *Apis mellifera L.*) saimes ziemošanas procesu, kas ir labs

piemērs daudzobjektu biosistēmai. Darba ietvaros ir izvēlēta biškopības nozare, jo šobrīd pētījumi par bišu saimes veselību un bišu skaita samazināšanos Eiropas mērogā ir uzskatāmi par svarīgiem un atbalstāmiem. Uz darba tematikas nozīmību norāda arī fakts, ka 7. ietvarprogrammas ERA-net ICT-Agri projekta ietvaros ir apstiprināts starptautisks projekts „*Application of Information Technologies in Precision Apiculture (ITAPIC)*", kurā tālāk tiks attīstīta šī darba tematika biškopības un IT zinātņu saskarē.

Promocijas darba praktiskais uzdevums ir realizēts, izmantojot PL ideju un automatizētās vadības sistēmas koncepciju, novērojot un vadot bišu saimes aktivitāti ziemošanas periodā specializētā bišu ziemotavā. Bišu saimes ziemošanas periods ir liela daļa no kopējā bišu saimes dzīves cikla, un balstoties uz biškopju atziņām, šajā periodā ir vislielākais bišu saimju zaudējums un bojāeja. Saimes bojāejas iemesli ir dažādi: dzīvnieku postījumi, slimības, bet liela ietekme ir arī klimatiskajiem apstākļiem, it īpaši Latvijas ziemas ar straujām temperatūras izmaiņām negatīvi ietekmē bišu saimju ziemošanu. Dotajā gadījumā bišu ziemotava ir uzskatāma par noslēgtu telpu. Ar noslēgtu telpu jāsaprot, ka tajā var nodrošināt nepieciešamo telpas mikroklimatu ar iespēju to vadīt. Telpas mikroklimats nav tieši atkarīgs no ārējās vides apstākļiem. Pretstatā var minēt kartupeļu audzēšanu atklātā laukā, kur nav iespējams norobežoties no ārējas vides ietekmes.

Bišu saimes ziemošanas procesā ir būtiski panākt, lai bišu saimes būtu iespējami labi piemērotas, lai izmantotu pirmo plānoto medus ienesumu, kas Latvijas klimatiskajos apstākļos ir aprīļa beigās. No ienesuma laika ir atkarīgs, kad bitēm būtu jāuzsāk intensīva peru audzēšana, tāpēc ir nepieciešams, izmantojot informācijas tehnoloģijas un automatizācijas rīkus, vadīt bišu saimes perošanas procesu ziemošanas laikā, ko ir iespējams īstenot tikai slēgtā un no ārējās vides apstākļiem norobežotā telpā. Šādu telpu bišu saimes ziemošanas gadījumā sauc par bišu ziemotavu. Promocijas darbā bišu ziemotava ir telpa ar izmēriem 6m x 4m x 2m, kur var izvietot līdz 100 bišu stropiem. Ziemotava ir aprīkota ar mikroklimata vadības sistēmu (dotajā gadījumā temperatūra ir vienīgais vadāmais parametrs), ar mērķi uzturēt bišu saimēm vajadzīgos mikroklimata parametrus un, pēc nepieciešamības mainot tos, ietekmēt saimes aktivitāti un uzvedību ziemošanas laikā. Bišu saimes aktivitāte ir mērīta, izmantojot autora izstrādātu vadu temperatūras sensoru tīklu. Balstoties uz bišu saimes temperatūras izmaiņām, ir vadīta ziemotavas iekšējā temperatūra, kā arī, mainot mērķa temperatūru ziemotavā, ir iespējams izpētīt, vai bišu saime reaģē uz ārējām vides izmaiņām un pielāgojas tām. Pašlaik ir zināms, ka augu un dzīvnieku valsts pārstāvji ir spējīgi izdzīvot mainīgas vides apstākļos. Bioloģiskās sistēmas pielāgojas jeb maina savu stāvokli atkarībā no ārējās vides stāvokļa. To realizē bioloģiskās sistēmas evolūcijas gaitā izveidojusies bioloģiskā vadības sistēma. Vadīt bioloģisko sistēmu nozīmē mainīt parametrus videi, kurā tā atrodas.

Šāda bišu saimes ziemošanas pieeja pretstatā tradicionālajai zieminašanai ārā palīdz samazināt bišu saimes barības patēriņu ziemā un bišu saimes fizioloģisko nolietošanos, vienlaikus radot iespēju prognozēt ziemošanas rezultātus.

Izvēlētā promocijas darba tēma ir aktuāla, jo risina precīzās datorvadības lietojuma metodiskās problēmas precīzajā lauksaimniecībā, kura var uzlabot lauksaimniecības rentabilitāti un vienlaicīgi samazināt tās negatīvo ietekmi uz vidi, kā arī praktiski demonstrē precīzo tehnoloģiju ieviešanas principus jaunās PL nozarēs. Kā piemērs ir izstrādāta precīzās biškopības koncepcija, un ir trīs gadu eksperimentu laikā demonstrēts datorvadības lietojums biškopības nozarē.

Promocijas darba mērķis un uzdevumi

Promocijas darba mērķis ir uzlabot precīzās lauksaimniecības pieejas realizāciju, izmantojot vairāku matemātisko modeļu sadarbību daudzobjektu biosistēmu datorvadībā. Pētījuma mērķa sasniegšanai risināti vairāki uzdevumi.

1. Izanalizēt sensoru tīklu un datorvadības realizācijas biosistēmu vadībā un precīzajā lauksaimniecībā.
2. Izanalizēt automatizētas vadības sistēmu izstrādes pamatprincipus biosistēmu vadībai.
3. Izstrādāt uz modeļiem balstītas automatizētas datorvadības sistēmas arhitektūru biosistēmu vadībai.
4. Izstrādāt individuālo bioloģisko objektu uzraudzības un vadības sistēmu precīzas datorvadības realizācijai bišu ziemināšanas procesā.
5. Eksperimentāli novērtēt izveidotās sistēmas pielietojamību bišu saimes stāvokļa novērtēšanai un vadībai ziemināšanas procesā.

Pētījuma metodes

Datorvadības sistēmu arhitektūru analīze tika lietota, izstrādājot datorvadības sistēmu arhitektūru biosistēmu vadībai.

Biškopības speciālistu aptauja tika veikta, izmantojot kvantitatīvo pētījuma metodi - anketēšanu.

Datorprogrammu izstrāde tika veikta C# valodā.

Lēmuma pieņemšanas procesa algoritmu attēlošanai ir izmantotas blokshēmas.

Lēmuma atbalsta sistēmas realizācijā izmantotā deterministiskā kvalitatīvā un kvantitatīvā modelēšana.

Programmējamo loģisko kontrolleru vadības programmas izstrādei ir izmantota kāpņu diagrammas valoda un *Siemens Step7 MicroWin* programmatūra.

Eksperimentu rezultātu analīzei ir izmantotas statistiskās metodes.

Eksperimentālie bišu saimes temperatūras mērījumi ir veikti, izmantojot 1-vadu arhitektūru.

Zinātniskais jauninājums

1. Ir izstrādāta uz modeļiem balstīta sadalīta vadības un uzraudzības sistēmas arhitektūra noslēgtā telpā notiekošiem daudzobjektu bioloģiskajiem procesiem.
2. Ir ieviesta dažādu tipu modeļu sadarbība lēmuma atbalsta sistēmās.
3. Ir izstrādāta formāla metodika precīzas lauksaimniecības sistēmu ieviešanas lietderības izvērtēšanai.
4. Ir definēti precīzās biškopības principi.
5. Ir izstrādāta datorvadības sistēma precīzās lauksaimniecības principu realizācijai biškopībā.

Praktiskā vērtība

- Izstrādātā programma *SEPA* var tikt lietota dažādās lauksaimniecības nozarēs ekonomiski pamatotai precīzās lauksaimniecības sistēmu ieviešanas secības noteikšanai.
- Vadības un uzraudzības sistēmas arhitektūra realizēta bišu ziemināšanas vadības sistēmā, kura ir izmantota bišu ziemināšanā 2010./2011. gada un 2011./2012. gada ziemas periodā. Sistēmas darbības rezultātā bišu ziemošanas procesu ir iespējams realizēt attālināti vadāmā mikroklimatā, noveršot neprognozējamo laika apstākļu ietekmi.

- Izstrādātā dalītas adaptīvas automatizētas vadības sistēmas arhitektūra var tikt lietota slēgtās telpās notiekošo bioprocesu vadībai.
- Izstrādātie algoritmi ļauj atpazīt dažādus bišu saimes stāvokļus pēc temperatūras mērījumiem.

Pētījuma tēzes

- Precīzās lauksaimniecības pieeja bioloģisko sistēmu vadībā var uzlabot ražošanas rentabilitāti un samazināt kaitējumu videi.
- Lēmuma atbalsta sistēmu realizācijā var izmantot vairāku dažādu tipu un dimensiju modeļu mijiedarbību.
- Precīzās lauksaimniecības pieeju ir iespējams adaptēt biškopībai.
- Ir iespējams izstrādāt formālu metodi precīzas lauksaimniecības datorvadības sistēmu ieviešanas ekonomiskā izdevīguma analīzei.

Dalība ar promocijas darbu saistītajos projektos

2012. gadā promocijas darba izstrādes laikā darba autors ir izveidojis pieteikumu starptautiskajam Eiropas mēroga projektam *ICT-Agri* ar tēmu „Informācijas tehnoloģiju lietojums precīzā biškopībā". Projektā piedalās partneri no 4 Eiropas valstīm (Vācija, Turcija, Dānija, Latvija kā koordinators). 2012. gada 7. novembrī *ICT-Agri* ekspertu sanāksmē projekts tika apstiprināts, plānojot realizācijas uzsākšanu 2013. gada augustā.

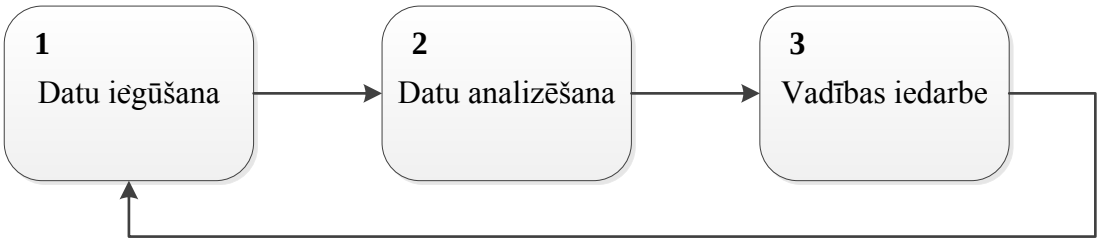
Autora pētījums veikts ar Eiropas Sociālā Fonda apakšaktivitātes „Atbalsts doktora studiju programmu īstenošanai" projekta „Atbalsts LLU doktora studiju īstenošanai" mērķfinansējuma atbalstu.

Vienošanās Nr. 2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017.

1. DATORVADĪBAS PIELIETOJUMS PRECĪZAJĀ LAUKSAIMNIECĪBĀ

Pēdējos gadu desmitos datorvadības, informācijas un komunikācijas tehnoloģiju straujā attīstība spēj nodrošināt lauksaimniecības vai citu bioloģisku objektu individuālu novērošanu un vadību. Tas savukārt ļauj realizēt tādu lauksaimniecības objektu vadību, kad visas vajadzīgās vadības iedarbes notiek, ņemot vērā ieejas datus un nepieciešamos individuālā objekta specifiskos parametrus. Tāda individuālo objektu vadība un uzraudzība kļuva par pamatu jaunai un šobrīd modernai, kā arī strauji augošai starpdisciplinārajai nozarei ar nosaukumu „precīzā lauksaimniecība" (PL).

Precīzā lauksaimniecība koncentrējas uz tādiem līdzekļiem, kas palīdz novērot un vadīt dažādus lauksaimniecības procesus. Tā ietver plašu lauksaimniecības problēmu klāstu, sākot no ganāmpulka vadības, līdz pat laukaugu ražošanas procesam. Precīzās lauksaimniecības galvenais mērķis ir padarīt lauksamniecību efektīvu, samazinot ietekmi uz ārējo vidi. Konceptuāli PL raksturo trīs fāžu cikls (skat. 1.1. att.) (Mancuso, Bustaffa, 2006):



1.1. att. **Precīzās lauksaimniecības koncepcijas cikliskais attēlojums.**
Avots: Autora pielāgots attēls pēc (Pentjuss et al., 2011).

Pirmā fāze ir datu iegūšana. Tā ietver objekta parametru mērīšanu.

Otrā fāze ir datizrace (datu analizēšana un interpretēšana). Precīzās lauksaimniecības gadījumā ir visai sarežģīti un dažreiz pat bīstami šo posmu automatizēt, un ir nepieciešama cilvēka vai lauksaimnieka līdzdalība lēmuma pieņemšanā.

Trešā fāze ir pielietojums. Tā ietver izpildiekārtu regulēšanu un vadības sistēmas parametru izmaiņu un pieskaņošanu, balstoties uz datu analīzes iegūtajiem rezultātiem.

Precīzās lauksaimniecības metodes ir pielietojamas vairākās sfērās, risinot dažādus lauksaimniecības uzdevumus, un tās ir izplatītas vairākās lauksaimniecības nozarēs, piemēram, vīnkopībā, lopkopībā, dārzkopībā un citās.

Precīzā lauksaimniecība un precīzā vīnkopība (PV) ir ražošanas sistēmas, kuras veicina mainīgo parametru vadību uz lauka, balstoties uz specifiskajiem ražošanas apstākļiem (Morais et al., 2008).

Precīzā vīnkopība ir PL pieeja, kas tiek pielietota ar mērķi optimizēt vīnogu lauka ražīgumu, maksimizējot vīnogu ražu un kvalitāti, minimizējot kaitīgo ietekmi uz apkārtējo vidi un iespējamos riskus (Proffitt, 2006). Tas tiek panākts, uzraugot tādus parametrus kā augsni, topogrāfiju, mikroklimatu, ogu veselību un citus, kā arī laicīgi lietojot pareizo vadības iedarbi, piemēram, atzarošanu, mēslošanu, irigāciju, ražas novākšanas plānošanu (Bramley, Hamilton, 2004).

Precīzā lopkopība arī ir plaši lietots termins. Mūsdienu sabiedrībai ļoti rūp ēdiena drošība un kvalitāte, efektīva un ilgtspējīga dzīvnieku audzēšana, dzīvnieku

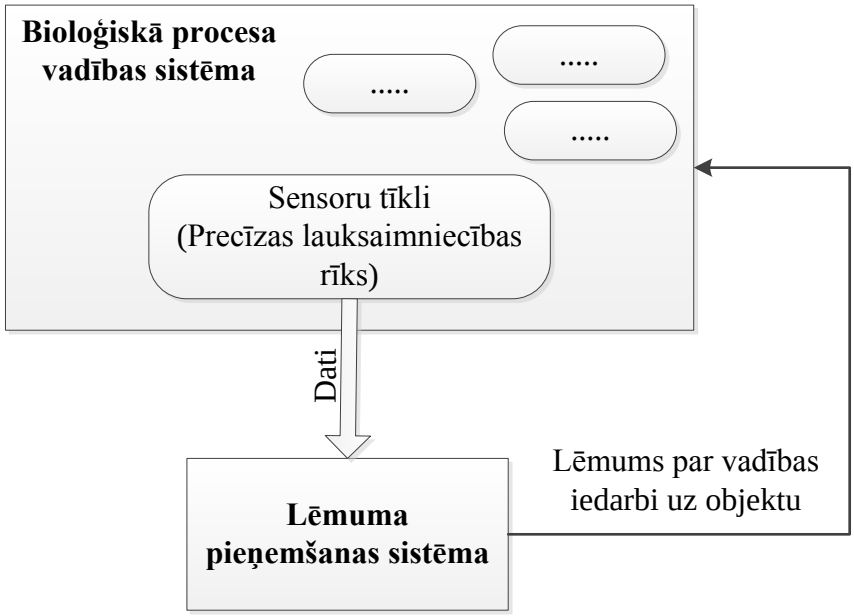
veselība. Tā rezultātā parādās augoša vajadzība uzraudzīt vairākus mainīgos parametrus ražošanas procesā, lai apmierinātu sabiedrības prasības.

Precīzā lopkopība ietver dzīvnieku dzīvībai svarīgu parametru mērījumus, prognozes un datu analīzi. Precīzā lopkopība piedāvā jaunas iespējas vākt un analizēt datus par dzīvniekiem nepārtraukti un automātiski (Berckmans, 2004).

Risinot PL uzdevumus, zinātniekiem ir iespēja pielietot mūsdienīgus informācijas tehnoloģiju sasniegumus un rīkus. Izplatītākās PL tehnoloģijas ir šādas:

- ražas kartēšana - šī tehnoloģija ļauj lauksaimniekam novērot ražas daudzumu, pat dažu kvadrātmetru lielam laukumam. Pēc šīm kartēm lauksaimnieki spēj noteikt augsta un zema ienesīguma reģionus un precīzi noteikt atšķirības starp tiem (Plant, Pettygrove, 2000);
- ražas monitors - ir ierīce, kas periodiski izmēra novāktā materiāla masas vai plūsmas ātrumu un, pamatojoties uz šiem mērījumiem, veic ražas novērtējumu (Plant, Pettygrove, 2000);
- ģeogrāfiskās informācijas sistēma jeb ĢIS ir datorprogramma, kas apvieno datu bāzes pārvaldības sistēmas ar grafikiem. Tā var apstiprināt datus no izvēlētās teritorijas un ģenerēt tematisko karti, kurā tiek parādīts datu sadalījums telpā. Informācija no ražas monitora tiek ielādēta ĢIS un pārveidota par krāsainu ražas karti, kas parāda ražas līmeni visā reģionā (Pierce, Clay, 2007).

Šodien visvairāk PL uzdevumu risināšana notiek, izmantojot vienkāršotu shēmu, kur datu savākšana par pētāmo procesu notiek, izmantojot sensorus vai sensoru tīklus un tālāk balstoties uz iegūtajiem datiem, tiek pieņemts lēmums par nepieciešamo vadības iedarbi uz objektu (skat. 1.2. att.):



1.2. att. **Precīzās lauksaimniecības uzdevumu risināšanas shēma.**
Avots: Autora veidots attēls.

Tā kā sensoru tīkli ir viens no centrālajiem tehniskajiem elementiem PL sistēmās, ar kuras palīdzību ir iegūti dati par procesu un bioloģiskajiem objektiem, ir nepieciešams atklāt šo tehnoloģiju detalizētāk.

1.1. Sensoru tīkla jēdziens

Daudzus gadsimtus cilvēce mēģināja vākt un vadīt informāciju par sabiedrībā un dabā notiekošiem procesiem. Agrāk šis process bija gana sarežģīts un prasīja daudz laika resursu. Attīstoties zinātnei un tehniskiem risinājumiem, tiek panākts, ka procesu analīzes izpētes un lēmumu pieņemšanas laiks pēc iegūtajiem rezultātiem tiek krietni samazināts. Sākot ar 20. gadsimta vidu, strauja datoru un pēc tam arī informācijas tehnoloģiju attīstība deva cilvēkiem iespēju vadīt ne tikai sabiedrībā notiekošos procesus, bet arī pievērsties dabas procesiem un problēmām. Tādi dabas procesi kā straujas klimata izmaiņas, zemestrīces, apkārtējās vides piesārņojums un citi neparedzami apstākļi veicināja cilvēces pievēršanos dabai. Lai veiksmīgāk kontrolētu dabā notiekošo, ir nepieciešams visu laiku attīstīt zināšanas un tehnoloģijas, un tādas jaunradītas tehnoloģijas ir arī sensoru tīkli (Alguliev et al., 2007).

Precīzā lauksaimniecība tiek balstīta uz detalizētu informāciju par lauksaimniecības objekta stāvokli. Piemēram, tādiem procesiem kā mēslošana un lauksaimniecības kultūru aizsardzība ir nepieciešama aktuāla un reāllaika informācija.

Realizējot parametru uzraudzību par individuāliem lauksaimniecības vai bioloģiskiem objektiem, šodien plaši tiek izmantoti sensori vai mēriekārtas un arī sensoru tīkli, kuru uzdevums ir tieši informācijas savākšana un pārsūtīšana gala iekārtai, piemēram, datoram, to tālākai apstrādei un analizēšanai.

Par sensoru tīkla pamatelementu kalpo sensori, kuri reģistrē kāda parametra izmaiņas, piemēram, temperatūras, spiediena, gaisa mitruma, skaņas, radiācijas un citus.

Sensors (no angļu val. *sensor*) ir ierīce, kuras uzdevums ir noteikt kāda objekta fizikālo stāvokli (piemēram, drukāšanas galviņas novietojumu) vai tā fizikālo kvalitāti (piemēram, temperatūru) un pārveidot to datora ieejas signālā. Parasti sensors ģenerē analogsignālu, kas pirms tā ievadīšanas datorā ar analogdiskrēto pārveidotāju tiek pārvērts par ciparsignālu (http://www.termnet.lv).

Pirmie sensori, kuri tika pielietoti ražošanā, bija maz efektīvi, to izmēru dēļ. Bet šodien, pateicoties augstai mikroelektronikas attīstības pakāpei, ir iespēja integrēt daudzveidīgas tehnoloģijas vienā kristālā. Tā rezultātā kļuva reāli apvienot mikroprocesoru ar radiomodēmu, kas ļauj realizēt dažāda veida tīklu protokolus uz viena kristāla (Zubinskij, 2003).

Sensoru tīkls (no angļu val. *sensor network*) ir mazo, miniatūro elektronisko ierīču tīkls, kuri apmainās ar informāciju, izmantojot vadu vai bezvadu sakarus (Culler et al., 2004).

Ir pieņemts uzskatīt, ka sensoru tīkls ir bāzēts uz tehnoloģijām no trim dažādām pētnieciskām nozarēm: sensoru uztvere, komunikācijas un datoru apstrādes (Culler et al., 2004).

Sensoru tīklu galvenie parametri jeb atribūti ir apkopoti 1.1. tabulā (Chong, Kumar, 2003):

1.1. tabula. **Sensoru tīklu galvenie atribūti**

Nr.	Atribūts	Raksturojums
1	Sensors	Izmērs: • mazs (piem., mikro elektroniskās mehāniskās sistēmas); • liels (piem., radars, satelīts). Skaits: mazs, liels. Tips: • pasīvs (piem., akustisks, seismisks, video); • aktīvs (piem., radars). Sastāvs: • homogēns (vienādi sensoru tipi); • heterogēns (dažādi sensoru tipi). Ģeogrāfiskais apgabals: • blīvs izvietojums; • izsēts izvietojums. Izvietojums: • fiksēts un plānots (piem., rūpnīcu sensoru tīkls); • speciāls (*ad hoc*, piem., izvietots no gaisa). Novietojums: • stacionārs (piem., seismiskais sensors); • mobils (piem., izvietots uz robota).
2	Novērošanas objekts	Objekts: • izplatīts (piem., dabas novērošana); • lokalizēts (piem., mērķa izsekošana). Mobilitāte: • statiskais; • dinamiskais. Pēc dabas: • kooperatīvs (piem., gaisa satiksmes kontrolēšana); • ne kooperatīvs (piem., kara objekti).
3	Darbošanās vide	Prognozējama (piem., rūpnīca) vai neprognozējama (piem., kara lauks).
4	Komunikācijas veids	Tīklu veids: • vadu tīkls; • bezvadu tīkls. Ātrums: • ātra komunikācija; • lēna komunikācija.
5	Apstrādes arhitektūra	Centralizēta, sadalīta vai hibrīda.
6	Enerģijas pieejamība	Ar ierobežojumu (piem., mazos sensoros) vai neierobežota (piem., lielos sensoros).

1.1.1. Sensoru tīklu attīstības etapi

Kā jau mēdz notikt, visas jaunās tehnoloģijas sākumā tiek radītas un attīstītas valsts aizsardzības programmām un militārām vajadzībām. Tāpat notika arī ar sensoru tīkla parādīšanos. Aukstā kara laikā tika izveidota skaņas uzraudzības sistēma, ko veidoja daudzie akustiskie sensori, kuri tika izvietoti okeāna dzelmē ar mērķi atklāt klusās padomju zemūdenes. Ar gadiem šī sistēma tika uzlabota un pilnveidota. Pašlaik tā tiek izmantota Nacionālajā Okeanogrāfijas un atmosfēras administrācijā (no angļu val. *National Oceanographic and Atmospheric Administration*) okeāna aktivitātes uzraudzībai. Vēl viens sensoru tīkla pielietojums aukstā kara laikā bija gaisa aizsardzības radaru tīkls, kuri bija izstrādāti un izvietoti ar mērķi aizsargāt ASV un Kanādu (Nishimura, Conlon, 1994).

Šie sensoru tīkli izmantoja hierarhisko informācijas apstrādes struktūru, kur datu apstrāde notika dažādos līmeņos, kamēr tā nesasniedza gala lietotāju. Daudzos gadījumos cilvēks-operators ieņēma galveno lomu sistēmā. Neskatoties uz to, tehnika, kas vēl joprojām tiek lietota, nodrošināja pamata datu apstrādi (Nishimura, Conlon, 1994).

Sensoru tīkla pētījumi, kas tiek lietoti mūsdienās, sākās ap 1980. gadu ar sadalītu sensoru tīkla programmu Modernas aizsardzības projektu pētījuma aģentūrā (no angļu val. *Defence Advanced Research Project Agency (DARPA)*). Tajā laikā Arpanets (priekštecis Internetam) darbojās jau dažus gadus, tam bija ap 200 punktu (no angļu val. *hosts*) universitātēs un pētījumu institūtos. *R. Kahn*, kurš bija viens no *TCP/IP* izgudrotājiem un ieņēma svarīgu lomu izstrādājot Interneta koncepciju, bija Informācijas apstrādes tehnikas biroja (no angļu val. *Information Processing Techniques Office*) direktors. Viņš vēlējās zināt, vai ir lietderīgi Arpaneta pieeju komunikācijai paplašināt līdz sensoru tīklam. Bija izveidots tīkls no daudziem telpiski sadalītiem sensoru elementiem, kuri sadarbojās viens ar otru, bet darbojās autonomi, un informācija tika pārsūtīta tieši tam elementam, kurš spēja visslābāk to izmantot. Tā bija vērienīga programma, demonstrējot jaunāko sasniegumu sensoru tīkla attīstībā (Nishimura, Conlon, 1994).

Strauja datoru un komunikācijas tehnoloģiju attīstība sekmēja veiksmīgāku sensoru tīklu pētījumu veikšanu un kļuva iespējams sasniegt sākumā plānoto tīkla koncepciju. Mazi un lēti sensori, kuri ir bāzēti uz mikroelektromehāniskās sistēmas tehnoloģijām, bezvadu komunikāciju un mazjaudīgs procesors ļāva izplatīt šos punktveidīgos no angļu val. *ad hoc*) sensoru tīklus dažādiem mērķiem (Gardner, Varadan, 2001).

Tā rezultātā *DARPA* sāka jaunus pētījumus, izmantojot jaunās pieejamās tehnoloģijas. Sākumā tā izstrādāja jaunas tīklošanas (no angļu val. *networking*) metodes. Kaujas laukā šādiem sensoriem ir jābūt gataviem ātrai izvietošanai punktveidīgi un augsti dinamiskai videi. Otrais pētījuma virziens tika veltīts informācijas apstrādes procesam, lai ar minimālo laika patēriņu no sensoru tīkla iegūtu nepieciešamos un pareizos datus (Gardner, Varadan, 2001).

Mūsdienās sensoru tīkli var izmantot tehnoloģijas un pildīt funkcijas, par kurām bija grūti iedomāties iepriekš. Sensori, procesori, komunikācijas iekārtas kļūst arvien mazāki un lētāki. Komerciālās kompānijas, tādas kā *Ember*, *Crossbow*, *Sensoria* un citas, nodarbojas ar sensoru tīklu izstrādi un izvietošanu. Šīs kompānijas parāda priekšrocības, kādas ir mūsu dzīvei, izmantojot sensorus (Gardner, Varadan, 2001).

Bezvadu tīkli, balstoties uz *IEEE* (no angļu val. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.11 standartu, var nodrošināt pārraides ātrumu tuvu ātrumam vadu tīklos. Tajā paša laikā *IEEE* ievēroja zemas izmaksas un augstas iespējas, ko piedāvā sensoru tīkli. Organizācija definēja jaunu standartu *IEEE* 802.15, kas nodrošina komunikāciju starp mezgliem ar dažādiem ātrumiem un uz dažādam distancēm (http://grouper.ieee.org/groups/802/15/).

Pēc arhitektūras sensoru tīkls sastāv no trim elementiem: gala mezgla jeb sensora, interfeisa iekārtas, kas nodrošina datu pārraidi no sensora līdz gala iekārtai, un gala iekārtas, kas parasti ir dators.

Sensoru tīklu pēc uzbūves var iedalīt trīs grupās:

- vadu sensoru tīkls, kur visi sensori savā starpā un arī ar interfeisa iekārtu ir savienoti, izmantojot vadu pieslēgumus;
- bezvadu sensoru tīkls, kur visi sensori savā starpā un arī ar interfeisa iekārtu ir savienoti, izmantojot bezvadu sakarus;
- kombinēts sensoru tīkls, kur visi sensori savā starpā un arī ar interfeisa iekārtu ir savienoti, izmantojot gan vadu, gan bezvadu sakarus.

21. gadsimtā visātrāk attīstās tieši bezvadu sensoru tīkli. Bezvadu sensoru tīkls sastāv no radiofrekvenču pārraidītājiem, sensoriem, mikrokontrolleriem un barošanas avotiem. Bezvadu sensoru tīkli ar pašorganizēšanos, paškonfigurēšanos, pašdiagnostikas un pašlabojumu iespējām ir lietojami, lai risinātu problēmas, kur tradicionālās tehnoloģijas nespēj veikt savas funkcijas (N. Wang et al., 2006).

Šodien ir pieejami vairāki bezvadu komunikācijas standarti. Starp tiem izplatītākie ir 802.11b – bezvadu tīkla standarts (*IEEE* standarts 802.11b), 802.15.1 – bluetooth standarts (*IEEE* 802.15.1 standarts) un 802.15.4 – *ZigBee* standarts (*IEEE* 802.15.4 standarts).

IEEE 802.11 ir elastīgs datu komunikācijas protokols, kas bija izstrādāts, ar mērķi paplašināt vai mainīt eksistējošu lokālu *Ethernet* tīklu. Pārraides ātrums ir 11Mbiti un tas darbojas ar frekvenci 2.4 GHz (Mangold et al., 2002).

Bluetooth ir bezvadu protokols, kas ir lietojams gadījumos, kad ir nepieciešama komunikācija starp nelieliem attālumiem. Tas izmanto 2.4 GHz, 915 un 868MHz radio joslas ar pārraides ātrumu līdz 1Mbitam. Galvenokārt *bluetooth* ir domāts kā kabeļu aizvietotājs mobilām iekārtām (Morais et al., 2008).

IEEE 802.15.4 standarts ir fiziskā radio specifikācija, paredzēta vienkāršu iekārtu savienojumiem, kas patērē maz enerģijas un tipiski ir izvietoti netālu viens no otra. Šis standarts ir piemērots uzraudzībai, vadībai, automatizācijai mājās, medicīnā un industriālajā vidē (Morais et al., 2008).

ZigBee ir standarts, kas pievieno tīkla, drošības un aplikācijas programmatūru standartam 802.15.4. *ZigBee* patērē maz enerģijas un ir vienkārši konfigurējams (Baronti et al., 2007).

Bezvadu tīkliem ir izstrādātas un standartizētas triju veidu tīklu topoloģijas: zvaigznes, hibrīda un režģtīkls (no angļu val. *mesh network*). *Bluetooth* tehnoloģija izmanto zvaigznes topoloģiju, kuru veido vairāki pikoneti. Katrs pikonets savieno vienu galveno (no angļu val. *master*) mezglu ar līdz pat septiņiem pakārtotiem (no angļu val. *slave*) mezgliem. Savukārt katrs scatternet savieno vairākus pikonetus, veidojot punktveidīgo tīklu (Morais et al., 2008).

Visefektīvāko tīklošanas topoloģijā izmanto vienādranga (no angļu val. *peer-to--peer*), režģtīklu, kas atļauj katram mezglam izmantot maršrutēšanu. Šī topoloģija atļauj mezgliem autonomi izveidot tīklu (N. Wang et al., 2006; Morais et al., 2008). Zemāk dotajā 1.2. tabulā ir dots triju iepriekš minēto tehnoloģiju salīdzinājums:

1.2. tabula. ***Wlan, bluetooth* un *ZigBee* tehnoloģiju salīdzinājuma tabula**

Parametrs	***WiFi* (*IEEE* 802.11b)**	***Bluetooth* (*IEEE* 802.15.1)**	***ZigBee* (*IEEE* 802.15.4)**
Pārraides ātrums	11 Mbps	1 Mbps	250 kbps
Mezglu skaits uz galveno mezglu	32	7	64 000
Pakārtotu mezglu uzskaitīšanas aizkaves	līdz 3 s	līdz 10 s	30 ms
Datu tips	Video, audio, grafika, bildes, faili	Audio, grafika, bildes, faili	Mazas datu paketes
Attālums	100m	10m	70m
Paplašinājuma iespējas	Ir iespējama	Nav	Ir
Baterijas dzīves ilgums	Stundas	1 nedēļa	Vairāk par gadu
Sarežģītība	Sarežģīta	Ļoti sarežģīta	Vienkārša

1.1.2. Sensoru tīklu lietojuma sfēras

Sensoru tīklus ir iespējams izmantot praktiski visās cilvēces darbības sfērās. Intelektuālie mikrosensori varētu tikt izvietoti uz zemes, gaisā, zem ūdens, uz ķermeņiem, transportlīdzekļos un ēkās (Chong, Kumar, 2003).

Sensoru tīklus var lietot, lai nodrošinātu infrastruktūras drošību un terorisma apkarošanu. Svarīgām ēkām un iekārtam, tādām kā elektrostacijām un komunikācijas centriem, ir jābūt pasargātiem no potenciāliem teroristu uzbrukumiem. Tīkls ar video, skaņas un citiem sensoriem var tikt izvietots ēkās un ārpus tām.

Par acīmredzamu pielietojumu eksperti nosaka ekoloģiju un glābšanas dienestu darbības nodrošinājumu. Piemēram, mazi, putekļu veida sensori tiek izmētāti no lidmašīnas virs meža masīva, un atkarībā no uzdotajiem parametriem tie var atklāt meža ugunsgrēka gadījumus vai vienkārši uzraudzīt meža parametrus.

Sensoru tīkli var novērot ražas nogatavošanās pakāpi, informējot lauksaimniekus par nepieciešamību aplaistīt to. Var arī uzraudzīt mikroklimata parametrus ražošanā vai sabiedriskās vietās.

Sensoru tīklam var būt svarīga loma, nodrošinot radiācijas līmeņa noteikšanu. Izvietojot sensorus augsnē, tuvu pie radiācijas objektiem un veicot mērījumus ar konkrētu laika intervālu, var organizēt radiācijas stāvokļa operatīvo kontroli (Brennan et al., 2004).

Sensoru tīklu var arī izmantot seismoloģijā, sniedzot informāciju par zemestrīcēm.

Noderīga būtu sensoru tīklu lietošana uz autoceļiem, jo komunicējot sensori varētu regulēt automašīnu plūsmu.

Plašs sensoru tīkla lietojums ir saistīts arī ar ārējās vides monitoringu (Selavo et al., 2007).

Daudzsološi ir lietot sensoru tīklus medicīnā – tas ir sirds ritma monitorings, asinsspiediena mērījumu veikšana un citu svarīgu faktoru novērošana ar mērķi savlaicīgi brīdināt ārstus neatliekamās palīdzības sniegšanai (Poon, YT Zhang, 2006; Virone et al., 2006).

Sensoru tīklu nozīmīgākās lietojuma sfēras varētu klasificēt šādā veidā:

- drošības sistēmas – iebrukumu noteikšana, attālināta novērošana, vērtību apsardze, mājas drošības sistēmas, ugunsdzēšanas signalizācijas;
- apkārtējās vides uzraudzība un vadība – mitruma, temperatūras, gaisa sastāva, ūdens parametru noteikšana, apkārtējās vides piesārņojuma uzraudzība, dzīvnieku migrācijas atklāšana;
- elektroenerģijas sistēmas – energoapgādes, kondicionēšanas, ventilācijas, apkures, apgaismojuma sistēmu vadība;
- ārkārtējas situācijas – paziņojumi par katastrofām, meža ugunsgrēkiem, plūdiem;
- veselības nozare – fizioloģiskā uzraudzība, neatliekamā palīdzība, personāla uzraudzība.

1.1.3. Sensoru tīklu lietojums precīzajās lauksaimniecības tehnoloģijās

Bezvadu sensoru un sensoru tīklu lietojums lauksaimniecībā un pārtikas industrijā vēl joprojām atrodas attīstības stadijā, bet jau tagad var izdalīt četras kategorijas, kur šādas sistēmas tiek realizētas: vides uzraudzībā, precīzajā lauksaimniecībā, ražošanas procesu vadībā, ēku un iekārtu automatizācijā (N. Wang et al., 2006).

Demonstrējot laika apstākļu uzraudzības iespējas, televīzijas kanāls *Discovery* demonstrēja bezvadu sensoru tīkla lietojumu Kanādas vīnogu laukā. Tur viena akra lielā laukumā bija izvietoti 55 bezvadu sensoru mezgli ar mērķi attālināti ziņot par temperatūras, mitruma un saules gaismas intensitāti. Ar šādas sistēmas palīdzību lauksaimnieks reālajā laikā varēja uzraudzīt katra lauka apgabalu, lai izvairītos no sala, kontrolētu irigāciju, noteiktu mēslošanas apjomus un plānotu ražas savākšanas grafiku.

Uzņemums *Crossbow Technology* prezentēja bezvadu sensoru tīklu, kas darbojas uz saules baterijām. Sensoru tīkls vāca informāciju par laika apstākļiem uz lauka, bet attālinātais aplikācijas serveris nodrošināja datu pārsūtīšanu no sensoru tīkla lokālajiem lietotājiem, izmantojot bezvadu lokālo tīklu, un attālinātiem lietotājiem ar Internet starpniecību (N. Wang et al., 2006).

Demonstrējot vides uzraudzības iespējas, ar ģeogrāfisko norādi *E. Vivoni* un *R. Camili* izstrādāja bezvada sistēmas prototipu, kas spēja iegūt, glabāt, atspoguļot un pārraidīt reālā laika datus, nosakot to ģeogrāfisko norādi. Dati tika pārraidīti starp vairākām lauka komandām un attālinātām lokācijām. Sistēmā lauka komandas ar maziem datu savākšanas moduļiem komunicēja cits ar citu vai ar lauka serveri, izmantojot bezvadu tehnoloģiju. Lauka serveris kombinēja saņemto informāciju un periodiski nosūtīja datus attālinātam tīmekļa serverim (Vivoni, Camilli, 2003).

M. Perkins ieviesa lētu, mazjaudīgu, pašorganizējošu sensoru tīklu ar nosaukumu *neuRFon*. Sistēmu var lietot ar mērķi uzraudzīt lauksaimniecības, vides un procesa parametrus (Perkins et al., 2002).

Bezvada sensori ir plaši lietoti precīzajā lauksaimniecībā ar mērķi iegūt datus par procesiem, nodrošināt precīzu irigāciju un mēslošanu, kā arī lai nodrošinātu lauksaimniekus ar aktuāliem datiem par notiekošajiem procesiem.

R. L. Gomide izstrādāja mobilo lauku datu iegūšanas sistēmu ar mērķi iegūt datus par kultūraugu apsaimniekošanu. Sistēmu veidoja datu savākšanas iekārtas, vadības iekārtas, datu atspoguļošanas un vadības sistēmas uz lauksaimniecības tehnikas. Sistēma spēja iegūt datus par vairākiem augsnes parametriem, tādiem kā ūdens daudzums, auglība, biomasas sastāvs, kā arī par augu lapu temperatūru un klimata parametriem (Gomide et al., 2001).

J. Mahan un *D. Wanjura* sadarbība ar privāto kompāniju izstrādāja bezvadu infrasarkanu termometru sistēmu, lai kontrolētu lauka datus. Sistēmu veidoja infrasarkanie sensori, programmējamais loģiskais kontrollers un radio pārraidītāji. Sistēma ieguva datus no sensoriem un pārraidīja tos attālinātam uztvērējam ārpus lauka (Mahan, Wanjura, 2001).

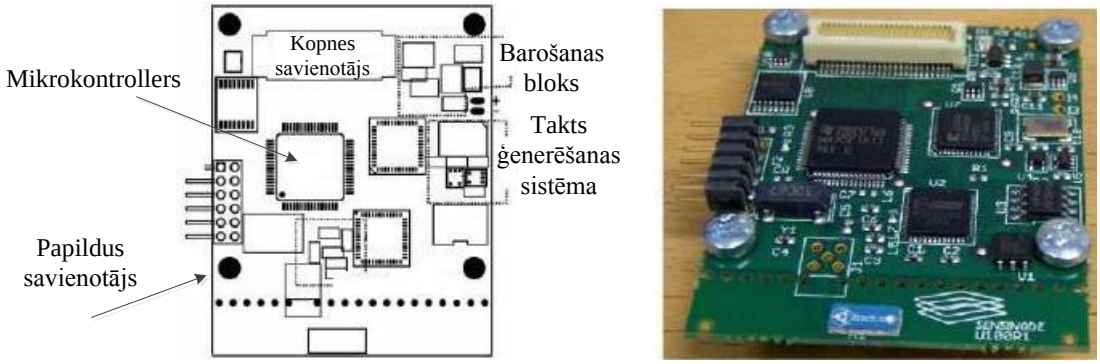
M. Damas izstrādāja un testēja sadalītu attālināti vadāmo, automātisko irigācijas sistēmu, kas tika pielietota 1500 ha lielā laukā Spānijā. Lauks bija sadalīts septiņos apakšreģionos, kuros tika izvietoti ap 1850 hidrantu. Katrs reģions tika uzraudzīts un kontrolēts, izmantojot vadības sektoru. Septiņi vadības sektori komunicēja cits ar citu un arī ar centrālo vadības sektoru, izmantojot bezvadu datu pārraides tīklu. Veicot irigāciju, ar šīs sistēmas palīdzību bija iespējams ietaupīt līdz 30-60% ūdens (Damas et al., 2001).

R. Evans un *J. Bergman* izpētīja precīzās irigācijas vadības sistēmu ar pašpiedziņu un lineāru kustību. Bezvadu sensori tika lietoti, lai plānotu irigācijas laikus, kombinējot laika prognozes, parametru datus un lauksaimnieku ieteikumus (Evans, Bergman, 2003).

S. Cugati izstrādāja automatizētu mēslošanas iekārtu koka kultūrām. Sistēmu veidoja GPS ievades modulis, reāllaika sensora datu iegūšanai, optimāla mēslošanas daudzuma aprēķināšanas, lēmuma pieņemšanas, moduļa un mēslošanas iekārtas regulēšanas modulis. Visi moduļi komunicēja, izmantojot *Bluetooth* tīklu (Cugati, Miller, 2003).

Siltumnīcu vai līdzīgu ēku mikroklimata vadības jautājumos bezvadu risinājumi ieņem savu vietu un ir plaši testēti un lietoti.

T. Ahonen savā pētījumā, Närpiö pilsētā, Rietumu Somijā, piedāvā lietot bezvada tehnoloģijas siltumnīcas uzraudzības procesā, norādot, ka vadu risinājumiem ir daži būtiski trūkumi, tie ir neaizsargāti, dārgi un ir sarežģīti mainīt sensora atrašanās vietu. Viņš ir izveidojis sensora mezglu, ar kura palīdzību tiek mērīti galvenie siltumnīcas parametri: temperatūra, mitrums, ogļskābās gāzes koncentrācija un apgaismojums (skat. 1.3. att.). Datu pārraidei ir izmantots *6LoWPAN* protokols, kas atļauj sūtīt *IpV6* paketes, izmantojot *IEEE* 802.15.4 tīklu (Ahonen, Virrankoski, 2008).



1.3. att. ***T. Ahonen* izstrādātā sensora mezgla attēlojums.**
Avots: Autora pielāgots attēls no (Ahonen, Virrankoski, 2008).

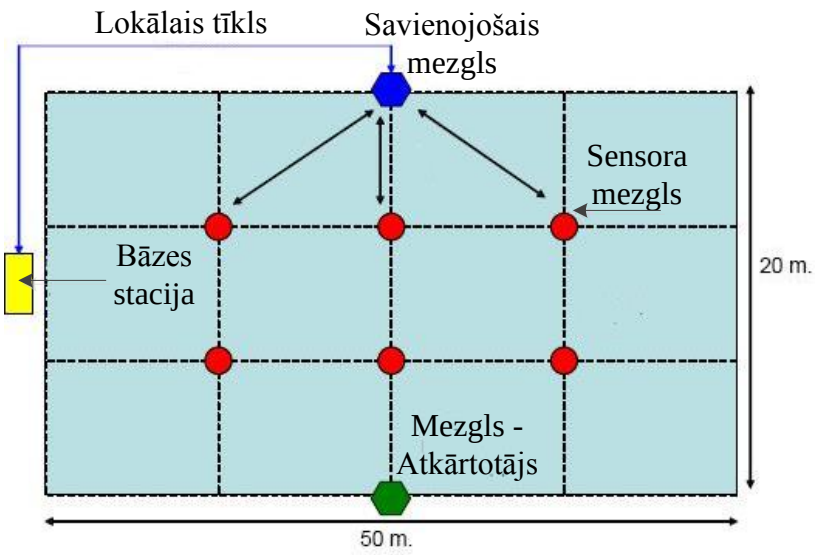
Savukārt 1.4. att. ir redzams reālais sensoru izvietojums siltumnīcā:

1.4. att. ***T. Ahonen* izstrādāta sensora mezgla izvietojums siltumnīcā.**
Avots: (Ahonen, Virrankoski, 2008).

T. Ahonen pētījumā tika uzsvērts, ka agrāk pietika ar vienu mikroklimata mērījumu siltumnīcas vidū, jo nebija iespējams lokāli vadīt izpildiekārtas, bet, attīstoties tehnoloģijām, parādījās šādas iespējas, tāpēc ir nepieciešams izvēlēties pēc iespējas vairāk mērīšanas vietu (Ahonen, Virrankoski, 2008).

Pētījuma rezultātā siltumnīcā tika izvietoti četri sensoru mezgli, kuri ar četru minūšu intervālu veica mērījumus. Analizējot datus, tika novērots, ka mitruma samazināšana vai paaugstināšana ietekmē temperatūru, to attiecīgi palielinot vai samazinot (Ahonen, Virrankoski, 2008).

Rinnovando grupa Itālijā veica pētījumu tomātu siltumnīcā, izmantojot bezvadu sensoru tīklu ar *Sensicast* iekārtām temperatūras, mitruma un augsnes temperatūras mērījumiem (skat. 1.5. att.). Pētījuma mērķis bija izstrādāt lēmuma pieņemšanas sistēmas arhitektūru, bāzētu uz bezvada sensoru tīklu kā paplašinājumu lauku sakaru infrastruktūrai. Viņi ir arī izstrādājuši uz tīmekļa bāzētu augu uzraudzības aplikāciju. Sistēma tika testēta siltumnīcā (ar izmēriem 20 x 50 metri), kur tika izvietoti seši sensoru mezgli (Mancuso, Bustaffa, 2006).



1.5. att. ***Rinnovando* grupas izveidotā sensoru tīkla arhitektūra.**
Avots: Autora pielāgots attēls no (Mancuso, Bustaffa, 2006).

C. Serodio izstrādāja un testēja sadalītu datu ieguves un vadības sistēmu vairāku siltumnīcu pārvaldīšanas procesam. Katrā siltumnīcā tika izmantots *WLAN* tīkls ar radio frekvenci 433.92MHz, savienojot sensoru tīklu ar lokālo kontrolleri (Serodio et al., 2001; Alves-Serodio, Monteiro, 1998).

R. Morais Portugālē ieviesa bezvadu datu iegūšanas tīklu, lai novērotu siltumnīcas ārējā un iekšējā klimata izmaiņas (Morais, Cunha, 1996).

M. Mizunuma izvietoja *WLAN* tīklu lauksaimnieku laukā un siltumnīcā, lai uzraudzītu augu augšanas procesu, kā arī ir izstrādājis sistēmas attālinātu vadību (Mizunuma, Katoh, 2003).

Ķīnā *G. Liu* ziņoja par siltumnīcas uzraudzības sistēmu, pielietojot *Bluetooth* tehnoloģiju. Sistēma ieguva siltumnīcas mikroklimata datus no sensora tīkla un pārraidīja to uz centrālo vadības sistēmu (G. Liu, 2003).

H. Q. Luo projektēja bezvadu sensorus siltumnīcās mikroklimata uzraudzībai. Bezvadu komunikācija balstījās uz nRF401 bezvadu moduļa, kurš darbojās ar frekvenci 433Mhz (Luo et al., 2006).

J. H. Wu ziņoja par siltumnīcas bezvadu datu savākšanas sistēmas arhitektūru un īstenoja to, lietojot *CC2420* - zemas izmaksas raidītāju-uztvērēju (Wu, Ding, 2006).

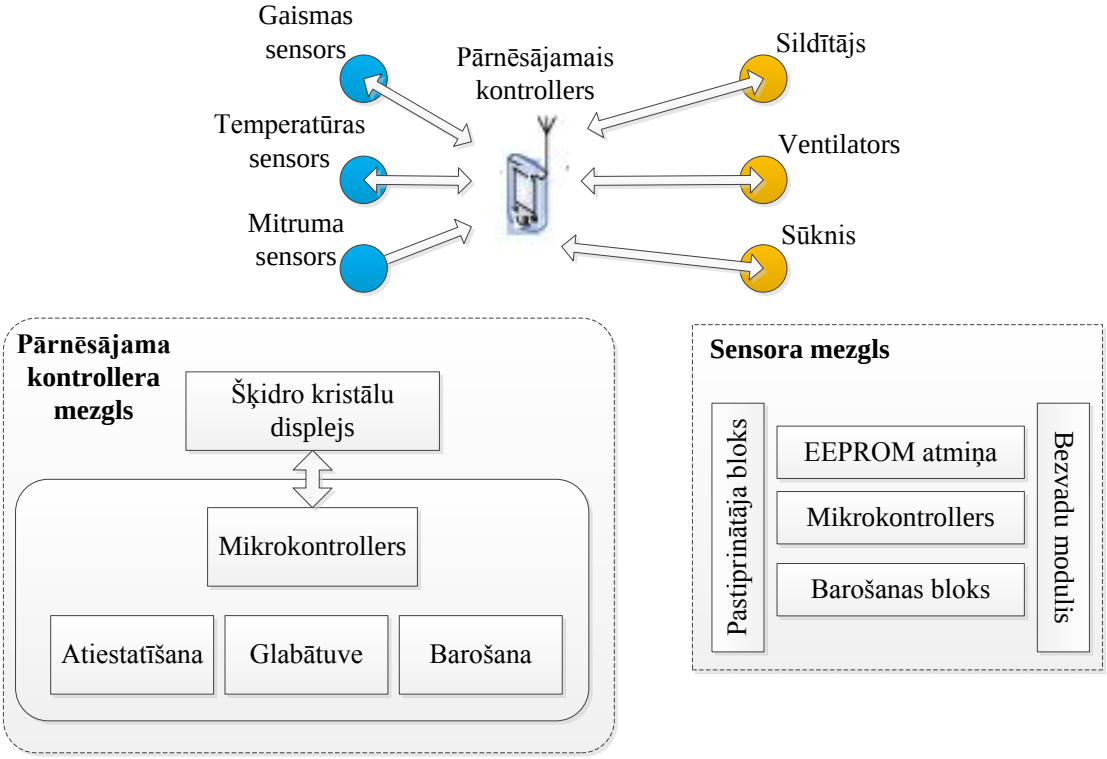
L. Li pārskatīja lauksaimniecībā lietotās vadu un bezvadu komunikācijas un salīdzināja to priekšrocības un trūkumus (Li et al., 2007).

H. Liu ir izstrādājis un testējis siltumnīcas vides uzraudzības bezvada sensoru tīkla prototipu. Tā rezultāta tika secināts, ka pastāv temperatūras starpības starp diviem mezgliem, kur viens tika izvietots siltumnīcas vidū un otrs pie siltumnīcas sienas, kas savukārt liecina par mikroklimata slāņu pastāvēšanu (H. Liu, Meng, 2007).

Q. Zhang salīdzināja *Wi-Fi*, *Buetooth* un *ZigBee* bezvada tehnoloģijas ar mērķi izstrādāt optimālu siltumnīcas uzraudzības sistēmu. Rezultātā viņš secināja, ka *ZigBee* tehnoloģijas lietojums ir labākā izvēle siltumnīcas uzraudzībai, jo tā nodrošina ilgāku sensora baterijas kalpošanas laiku, ir mazs izmērs, augsta uzticamība, autonoma vai

pusautonoma uzstādīšana un zemas kopējās sistēmas izstrādes izmaksas (Q. Zhang et al., 2007).

Viņa piedāvātais risinājums tika testēts mūsdienīgā siltumnīcā Zhejiangā, Ķīnā. Sistēmas arhitektūra ir demonstrēta 1.6. att. Bezvadu sensori iegūst datus par nepieciešamajiem parametriem un pārraida tos pārnēsājamam kontrollerim (no angļu val. *hand-held controller (HHC)*). Kontrollers saglabā datus un atspoguļo tos uz *LCD* ekrāna. Tālāk, vadoties pēc algoritma, kontrollers nosūta vadības komandas izpildiekārtām (Q. Zhang et al., 2007).



1.6. att. ***Q. Zhang* izstrādātās siltumnīcas uzraudzības sistēmas arhitektūra.** Avots: Autora pielāgots attēls no (Q. Zhang et al., 2007).

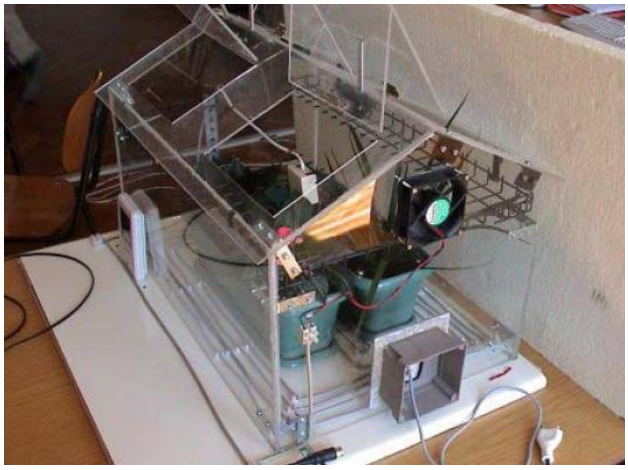
J. Lea-Cox sava pētījuma rezultātā ir izveidojis daudz mezglu bezvadu sensoru tīklu siltumnīcas un inkubatora vides parametru reālā laika uzraudzībai, galvenokārt pievēršoties ūdens satura uzraudzībai. Viņš definēja četrus galvenos parametrus, kuriem jāatbilst šāda veida sensoru tīkliem (Lea-Cox, Ristvey, 2007):

- lietotājam ir jābūt iespējai ātri un vienkārši izvietot sensorus jebkurā vajadzīgajā vietā;
- sensoru tīklam jābūt ar iespēju viegli to paplašināt, sākot uzraudzību no maza sensoru skaita un ar laiku pēc vajadzības to sensoru skaitu palielināt;
- datiem jābūt droši pārsūtāmiem no sensoriem uz gala iekārtu;
- ir jābūt automātiskai datu saglabāšanai un ērtai informācijas atspoguļošanai.

Daži citi pētnieki bija pievērsušies iespējai lietot sensorus ar mērķi noteikt ūdens saturu augsnē lauksaimniecībā izmantojamā laukā (Lieth, Burger, 1989). Diezgan sarežģītas sistēmas tika lietotas līdzīgiem mērķiem – vīnu laukos un mežsaimniecībās (Burrell, Brooke, 2004).

Tehniski modernas apūdeņošanas sistēmas ir izmantotas siltumnīcās, bet tās ir bez automātiskās vadības iespējas (Testezlaf et al., 1999).

D. Stipanicev savā pētījumā ir izveidojis prototipu siltumnīcas uzraudzības sistēmai, kura ir balstīta uz 1-vadu lokālu sensoru tīklu, un papildus viņš ir izstrādājis ieguldīto (no angļu val. *embedded*) tīmekļa serveri ar mērķi savienot privātu sensoru tīklu ar globālo Internet tīklu. Sistēmas kodols ir iegultais tīmekļā vadības bloks (no angļu val. *Embedded Web Control Unit*), kas ir savienots, no vienas puses, ar lokālu sensoru tīklu, bet, no otras puses, ar Internet tīklu (Stipanicev, Marasovic, 2003). Siltumnīcas modelis, kur tika testēta sistēma, ir redzams 1.7. att.:



1.7. att. ***D. Stipanicev* izstrādātais eksperimentālais siltumnīcas modelis.** Avots: (Stipanicev, Marasovic, 2003).

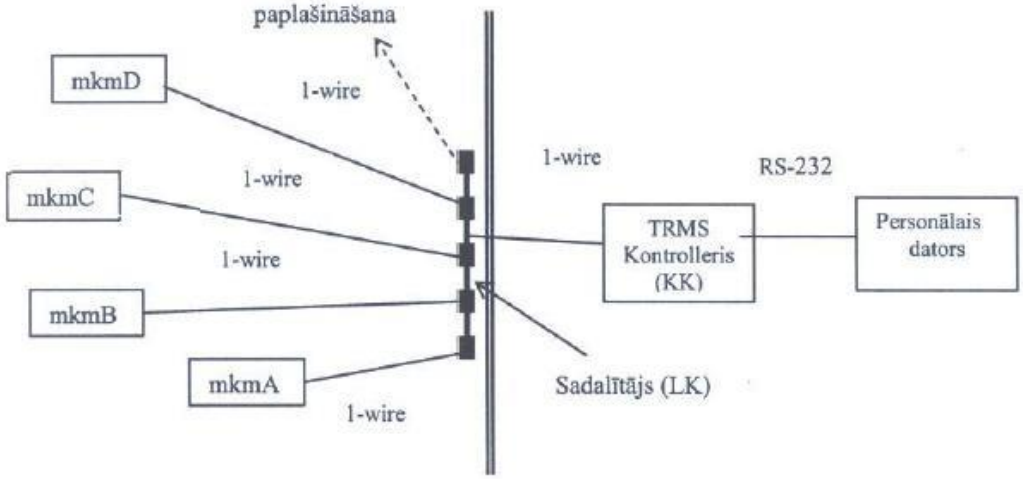
Siltumnīcā vadība tiek realizēta, lietojot tīmekļa tehnoloģijas. Ir izveidoti četri specifiski vadības bloki. Galvenais vadības bloks veido dinamisku vadības tīmekļu lapu, kas ir aizsargāta ar lietotāja vārdu un paroli. Mainot parametrus, lietotājam ir iespēja attālināti un manuāli vadīt sistēmu.

Izanalizējot pētījumus par Latvijā izmantojamām temperatūras uzraudzības sistēmām, var izdalīt dažus pētījumus un praktiskus eksperimentus.

Viens no pētījumiem ir veikts par augu mājas temperatūras un mitruma uzraudzības sistēmas izstrādi, kuru izveidoja A. Baums. Pētījums bija paredzēts relatīva mitruma un temperatūras uzraudzībai celtnēs, kur var būt dažādi specifiski klimatiski apstākļi. Šādās telpās cilvēkam ir iespēja izpētīt un regulēt optimālos klimata parametrus, kas savukārt nav iespējams brīvā dabā. Šī sistēma ir orientēta uz datu ieguvi no daudziem telpā izvietotiem sensoriem un ir uzskatāma par specifisku sensoru tīklu vai problēmu orientētu dalīto sistēmu. Tā izstrāde balstījās uz pazīstamiem, dalītas sistēmas veidošanas principiem (Baums et al., 2007).

Izstrādājot šāda veida uzraudzības sistēmas, ir jānodrošina ne tikai objekta stāvokļa kontrole, bet arī ilgstoši jākrāj dati. (Baums et al., 2007).

Izstrādātā sistēma praktiski tiek lietota Latvijas Universitātes Botāniskā dārza palmu mājā (skat. 1.8. att.). Sensoru tīkls ir balstīts uz 1-vadu tīkla arhitektūru ar firmas *Dallas* temperatūras sensoriem, *DS2348* un *Honeywell* firmas mitruma sensoriem *HIH3610*. Kontrollers, kas ir uzbūvēts uz mikroprocesora *AT89S52* bāzes, ar iestatīto minūšu laika intervālu aptaujā mikro sensorus. No sensoriem iegūtie dati tiek atspoguļoti uz kontrollera gaismas diožu ekrāna (Baums et al., 2007).



1.8. att. **A. Bauma izveidotā monitoringa sistēmas arhitektūra.**
Avots: (Baums et al., 2007).

Personālā datora komunikācijai ar kontrolleru ir izstrādāta speciāla programma, kas darbojas *MS-DOS* vidē, kur datora monitorā lietotājs redz sensoru izvietojumu un mērījumus (Baums et al., 2007).

Pēc promocijas darba autora domām, izstrādātajai sistēmai ir daudz priekšrocību: tā ir ekonomiska, viegli uzlabojama un paplašināma, ir nodrošināta droša datu pārraide, bet tai ir arī daži būtiski trūkumi: viens no galvenajiem trūkumiem ir tas, ka nav iespējams attālināti uzraudzīt šo sistēmu un nav paredzēta lietotāju operatīvā informēšana par notiekošajām izmaiņām. Kā arī *MS-DOS* vidē izveidotu programmu nevar uzskatīt par lietotājam draudzīgu.

Vēl viens zinātnisks eksperiments tika veikts par augļu dārza mikroklimata parametru uzraudzību ar bezvada sensoru tīkla palīdzību. Zinātnieki izmantoja pašizveidotas motes ar nosaukumu *SADmote* (Elsts et al., 2012).

Ar bezvadu sensoriem ir iespējams uzraudzīt arī savvaļas dzīvniekus (skat. 1.9. att.). R. Zviedris ar kolēģiem ir izstrādājis sistēmu lūšu monitoringam ar nosaukumu *LynxNet*. *LynxNet* ir mobilo sensoru un radiokomunikācijas tīkls, kur tīkla arhitektūra piedāvā uz dzīvniekiem orientētu pieeju (Zviedris et al., 2010).

1.9. att. **Lūšu apkakles iekārta.**
Avots: (Zviedris et al., 2010).

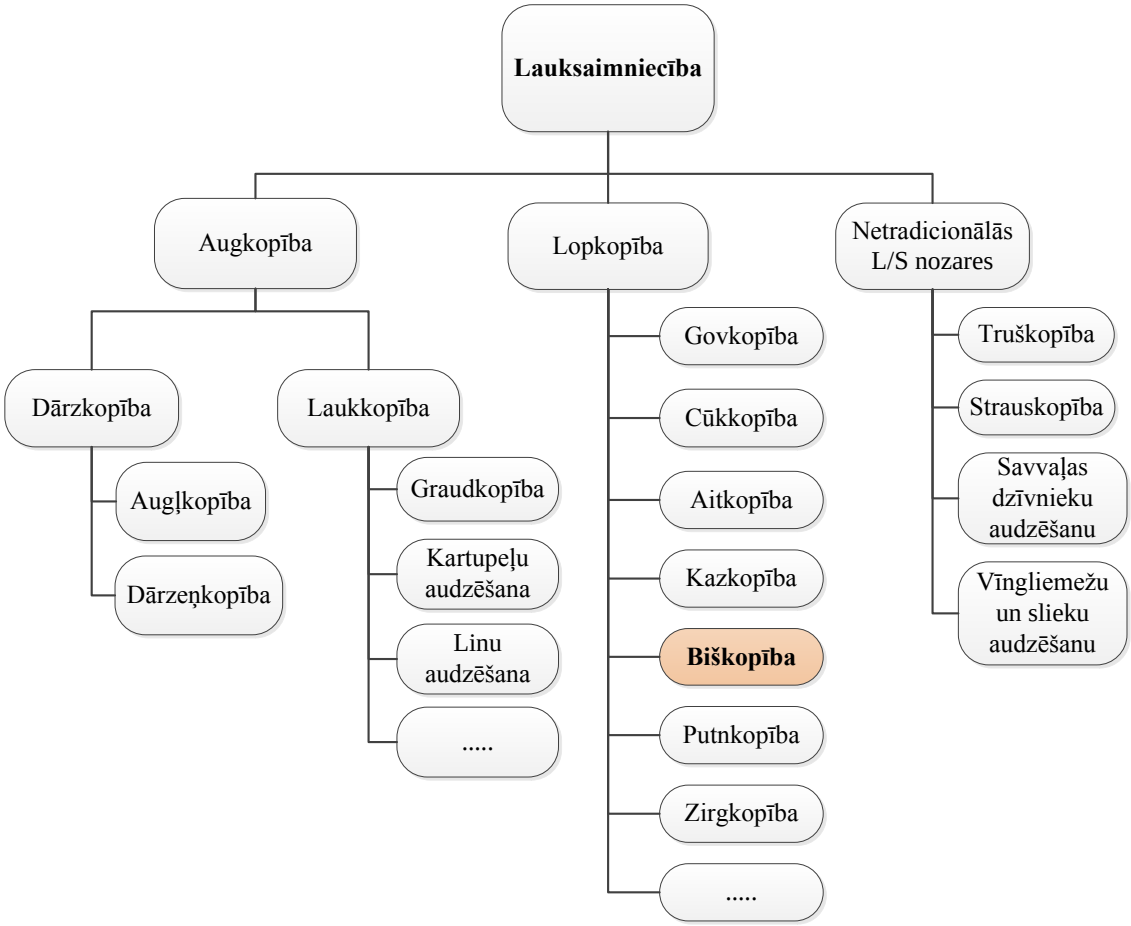
1.2. Precīzā biškopība

Biškopība ir ražošanas nozare, kas cieši saistīta ar citām lauksaimniecības nozarēm. Bites vāc augu nektāru un ziedputekšņus. Daļu no tiem bites izlieto savām vajadzībām un uzturam, bet atlikušo daļu pārstrādā un ražo biškopības produkciju, piemēram, medu, ziedputekšņus un citus produktus. Šiem produktiem ir liela nozīme cilvēku uzturā, rūpniecībā un medicīnā (Vornicu, Olah, 2004; Carrilo, Zayos, 1999).

Klimatiskajiem apstākļiem ir izšķiroša ietekme uz floras un faunas attīstību pasaulē, tāpēc bišu saimes dzīve un uzvedība, medus ražošana un kvalitāte ir cieši saistīta ar to dzīvošanas reģiona klimatiskajiem apstākļiem.

Bite kā sociāls kukainis veido kamolu stropa iekšienē, lai atvieglotu ziemošanas procesu, samazinot barības patēriņu un kopīgi regulējot mikroklimatu kamolā. Kamolā notiekošie procesi, pētniecības un apraksta nolūkos tiek vienkāršoti un formalizēti, jo faktiski šis process ir ļoti daudzveidīgs un grūti aprakstāms.

Precīzā lauksaimniecība pierādīja sevi kā veiksmīgu pieeju vairākās lauksaimniecības apakšnozarēs, piemēram, precīzajā lopkopībā (Berckmans, 2004), precīzajā dārzkopība (R. Zhou et al., 2012), precīzajā vīnkopībā (Morais et al., 2008; Bramley, Hamilton, 2004; Santesteban et al., 2012) utt. Biškopība arī ir viena no lauksaimniecības apakšnozarēm (skat. 1.10. att.), kur precīzās lauksaimniecības pieeja un metodes arī var tikt izmantotas un realizētas.



1.10. att. **Biškopības vieta Latvijas lauksaimniecības nozaru struktūrā.** Avots: Autora veidots attēls, balstoties uz LR ZM 2012. gada lauksaimniecības gada ziņojumu.

Precīzās lauksaimniecības metožu un tehniku adaptācija biškopībā kopā ar informācijas tehnoloģiju izmantošanu var papildināt biškopju zināšanas un sapratni par individuālās bišu saimes uzvedību. Autors piedāvā definēt precīzās biškopības (no angļu val. *Precision Beekeeping* vai *Precision Apiculture*) terminu, kas līdz šim zinātniskajā literatūrā nav pieminēts. Darba autors par šo tēmu ziņoja ASV konferencē „*11th International Conference on Precision Agriculture*" 2012. gada jūlijā.

Precīzā biškopība (PB) ir dravas vadības stratēģija, balstoties uz individuālās bišu saimes uzraudzību, ar mērķi minimizēt bišu saimes resursu patēriņu un maksimizēt bišu produktivitāti (Zacepins et al., 2012).

Galvenais PB uzdevums ir uzraudzīt un vadīt bišu uzvedību un aktivitāti, lietojot individuālo pieeju objektiem. Nav iespējams un arī nav nepieciešams uzraudzīt katru biti atsevišķi, un tāpēc kā individuālais PB objekts ir bišu saime. Bites ir vieni no sociālajiem kukaiņiem, un tieši tāpēc bišu saimes uzvedība līdzinās vienas lauksaimnieciskās vienības uzvedībai kā govs lopkopībā vai lauka apgabals graudkopībā. Arī biškopji, veicot saimes ārstēšanu, lieto medikamentus visai saimei, nevis konkrētai bitei. Tādu pieeju var salīdzināt ar to, ka lauksaimniecības speciālists apskata nevis katru konkrētu puķi, bet visu puķudobi (Zacepins et al., 2012).

Līdzīgi kā PL arī PB varētu būt uzskatīta par trīs fāžu ciklu, kur pirmais posms - datizrace ieņem nozīmīgu vietu. Tad, balstoties gan uz mērījumiem, gan uz definētiem modeļiem un uz ekspertu (biškopju) zināšanām, ir iespējams secināt par bišu saimes uzvedību un attīstības tendencēm. Pēdējā posmā, balstoties uz lēmuma pieņemšanu, var veikt vajadzīgās darbības ar mērķi ietekmēt bišu saimi (Zacepins et al., 2012).

Viens no tehniskajiem PB uzdevumiem uzraudzības laukā ir izstrādāt reālā laika līdzekli, lai nepārtraukti uzraudzītu bišu saimi visos tās dzīves posmos, izmantojot automatizētus risinājumus un minimāli kairinot bišu saimi. Tāda līdzekļa mērķis nav pilnīgi aizvietot biškopji, bet gan informēt par saimju iespējamo stāvokli un palīdzēt efektīvi plānot ražošanas procesu (Zacepins et al., 2012).

Bišu saimes dzīves ciklu Latvijas un līdzīgos klimatiskajos apstākļos var iedalīt divos lielos saimes attīstības posmos, kurus galvenokārt nosaka klimatiskie apstākļi: pasīvais ziemošanas periods un aktīvais vasaras periods. Detalizētāk minētie divi periodi ir aprakstīti citu autoru publikācijās (Ambrose, 1992; Stalidzans, Berzonis, 2013; Schmickl, Crailsheim, 2004). Katrā no periodiem PB metodes var tikt lietotas ar dažādiem mērķiem.

Pasīvās ziemošanas periodā ir svarīgi automātiski atpazīt bišu saimes nāvi, operēt ar aktuālo informāciju par peru audzēšanas intensitāti un sekot līdzi barības patēriņam (Stalidzans, Berzonis, 2013; Zacepins et al., 2011; Zacepins, Stalidzans, 2012; Zacepins, 2012).

Vasaras periodā svarīgi ir atpazīt spietošanas momentu, bezperu stāvokli, bezmātes stāvokli, cilvēka izlaupītās saimes, bišu izlaupītās saimes, stropa apgāšanos un citus notikumus. Šobrīd vairāk ir attīstītas sistēmas spietošanas momenta atpazīšanai un paredzēšanai. Bišu spietošana ir dabisks bišu saimes izplatīšanās mehānisms, tas ir stohastisks process, kas ir atkarīgs no ģenētiskām un citām bišu saimes īpatnībām (Seeley, Buhrman, 1999; Conradt, Roper, 2005). Spietošanas rezultātā daļa bišu saimes atstāj esošo stropu un nodibina jaunu saimi jaunā vietā dažu kilometru attālumā, tādējādi nodarot zaudējumus biškopim. Diemžēl spietošanas automātiska atpazīšana pagaidām nav atrisināta.

Bišu saimes bojāeja vai izzušana var tikt identificēta vairākos veidos, bet tomēr vienkāršākais un lētākais ir, pielietojot bišu saimes temperatūras mērījumus. Saime nav dzīva tad, kad temperatūra stropā atkārto ārējas vides temperatūru (Zacepins, 2012).

Vairākas bišu saimes parametru mērīšanas pieejas var būt īstenotas PB realizācijai: temperatūras, mitruma, gāzes sastāva mērīšana, skaņas analizēšana, stropa vibrācijas mērīšana, video uzraudzība un saimes svēršana.

Praktiskais PB metožu lietojums palīdzēs uzlabot biškopības efektivitāti un pārnesīs biškopības praksi nākamajā tehnoloģiskajā līmenī.

Realizējot precīzo biškopību ir iespēja veikt bišu saimes uzraudzību trīs līmeņos: dravas līmeņa parametru uzraudzība (piem., meteoroloģiski parametri, skaņa un video novērošana), saimes līmeņa parametru uzraudzība (piem., temperatūra, mitrums, vibrācija, skaņa) un individuālas bites līmenis (piem., bišu skaits stropa ieejā).

Apskatot pētījumus biškopības jomā par parametru mērīšanas iespējām bišu stropos, var atrast daudz zinātniski interesantu un nozīmīgu darbu, kas norāda, ka tehniskā bāze PB realizācijai jau ir pietiekami plaša un ir jāsāk to ieviešana biškopības praksē.

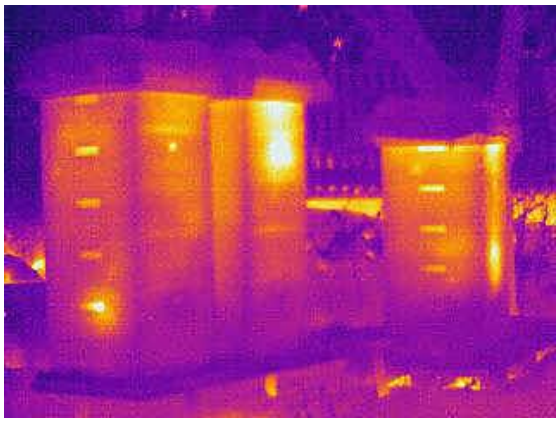
1.2.1. Bišu saimes novērošanas metodes

Biškopības praksē bišu saimes var būt novērotas ar vairākiem tehniski pieejamiem rīkiem un metodēm. Visvairāk izplatītas ir saimes temperatūras, skaņas un video uzraudzība.

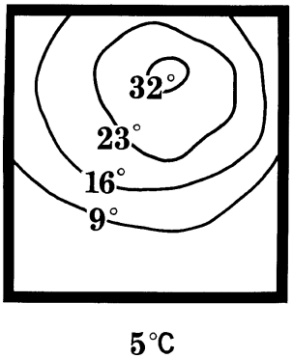
- **Bišu saimju temperatūras mērījumi**

Svarīga īpašība medus bitēm ir tā, ka tās spēj regulēt temperatūru stropa iekšienē, lietojot savus lidošanas muskuļus. Pārāk liela muskuļu vibrēšana biti sakarsē un karstums izdalās caur tās galvu. Bite sevi var atdzesēt, atvemjot pilienu karstā iekšējā šķidruma. Tā rezultātā bites galvas temperatūra var nokristies par 10 grādiem. Aukstā laikā bites sevi silda, tricinot lidošanas muskuļus, bet karstā laikā tās ar spārniem stimulē gaisa apmaiņu stropā. Ja gaisa temperatūra ir zem +7 - +10°C vai virs +38°C, bites kļūst mazkustīgas un neaktīvas. Medus bites var izturēt arī temperatūru līdz +50°C, bet tikai uz īsu brīdi (Seeley, Buhrman, 1999).

Temperatūra bišu stropā nav sadalīta vienmērīgi, bišu kamolā tā ir lielāka un mainās mazāk nekā temperatūra pie stropa sienām, to var redzēt attēlā, kur ir parādīts siltuma sadalījums stropā pasīvajā periodā ziemā (skat. 1.11. att. un 1.12. att.):



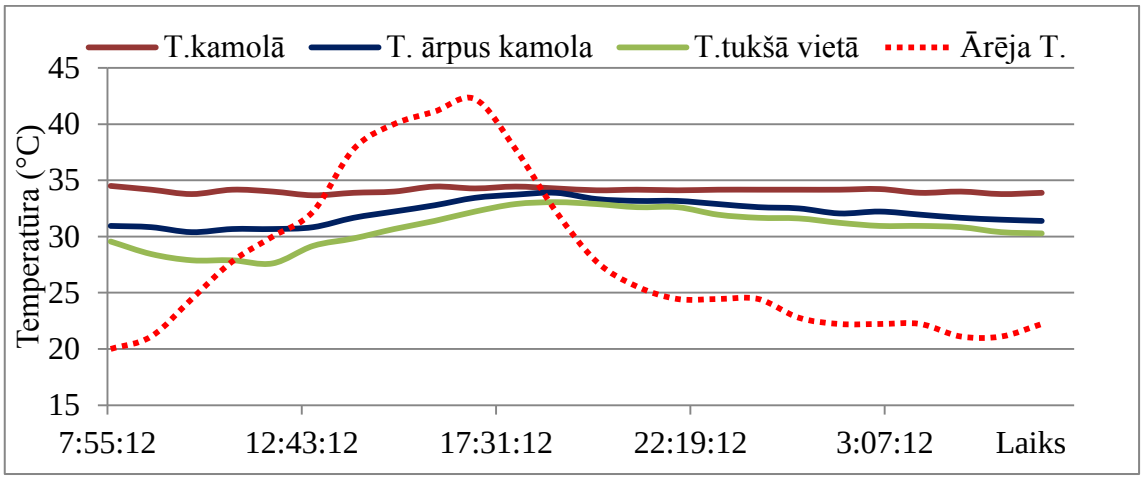
1.11. att. **Temperatūras sadalījums bišu stropā. Infrasarkanais attēlojums.**
Avots: http://www.beebehavior.com/infrared_camera_pictures.php



1.12. att. **Bišu kamola kā siltumlauka attēlojums. Skats no sāniem.**
Avots: (Southwick, 1992).

Bišu saimes temperatūras mērīšana bija un paliek lēts un ekonomisks risinājums. Ir veikti vairāki pētījumi saistībā ar šāda veida mērījumiem. Daudzi zinātnieki, pielietojot dažādas savulaik pieejamas modernas informācijas tehnoloģijas un mērīšanas iekārtas, mēģināja izprast bišu uzvedību atkarībā no apkārtējās vides parametriem.

Viens no pirmajiem eksperimentiem šajā jomā tika veikts 1926. gada vasarā uz Ohaio Universitātes jumta, kad amerikāņu zinātnieks *W. E. Dunham*, izmantoja astoņus termoelementus, kurus ievietoja vienā stropā, bet dažādās vietās, savukārt āra temperatūra tika mērīta, izmantojot dzīvsudraba termometru. Ar tā palīdzību katru stundu tika mērīta temperatūra. Rezultātā viņš ieguva sarakstu ar vidējo temperatūru dažādās stropa vietās (skat.1.13. att.) un secināja par temperatūras saimē atkarību no apkārtējas vides temperatūras (Dunham, 1926).



1.13. att. **Četru devēju grafiskais attēlojums ar temperatūras izmaiņām diennakts laikā.**
Avots: Autora veidots pēc (Dunham, 1926) datiem.

Attēlā ir redzami temperatūras mērījumu rezultāti trijās vietās stropā – augšējā līkne demonstrē temperatūru tieši bišu kamolā, otrā no augšas – ārpus kamola, trešā – ir tukša vieta stropā un ceturtā – ārējā temperatūra, kurā atrodas strops mērījumu laikā. Var redzēt, ka temperatūras svārstības bišu ligzdā ir nelielas salīdzinājumā ar temperatūru stropa tukšajā vietā. Tas savukārt liecina par to, ka bites var kontrolēt un minimizēt ārējās temperatūras izmaiņas (Dunham, 1926).

Jau 20. gadsimta 20. - 30. gados tika secināts, ka temperatūra ietekmē bišu uzvedību (Dunham, 1926). Kā arī viņa eksperimentos iegūtie dati tiek apliecināti arī tagad, ka bišu kamolā aktīvajā perošanas laikā temperatūra ir ap +35°C.

Temperatūras mērījumus ir iespējams veikt, lietojot speciālus sensorus. Viens no tādiem sensoriem ir pogas tipa sensors (no angļu val. *iButton*) (skat. 1.14. att.) ar iebūvētu atmiņu. Ievietojot šādu devēju bišu stropā un uzstādot nepieciešamo datu nolasīšanas intervālu, pēc tam ir iespējams tos nolasīt, pieslēdzot pie 1-vadu adaptera. *iButton* sensoru tehnoloģija ir izstrādāta *Dallas Semiconductor* kompānijā. Tiem ir daudz priekšrocību, piemēram, mazs izmērs, spēja strādāt plašā temperatūras diapazonā (-40°C; +70°C) un tie ir arī ūdens izturīgi. Bet ir arī trūkumi: lietojot šāda veida sensorus, mikroklimata parametru mērīšanai stropā nebūs iespējams sekot līdzi temperatūras izmaiņām, jo, lai nolasītu datus, katru reizi ir jāizņem devēji no stropa, kā arī devēju iekšējais barošanas avots ir paredzēts īsam mērīšanas periodam (avots: http://www.maxim-ic.com/products/ibutton/ibuttons/).

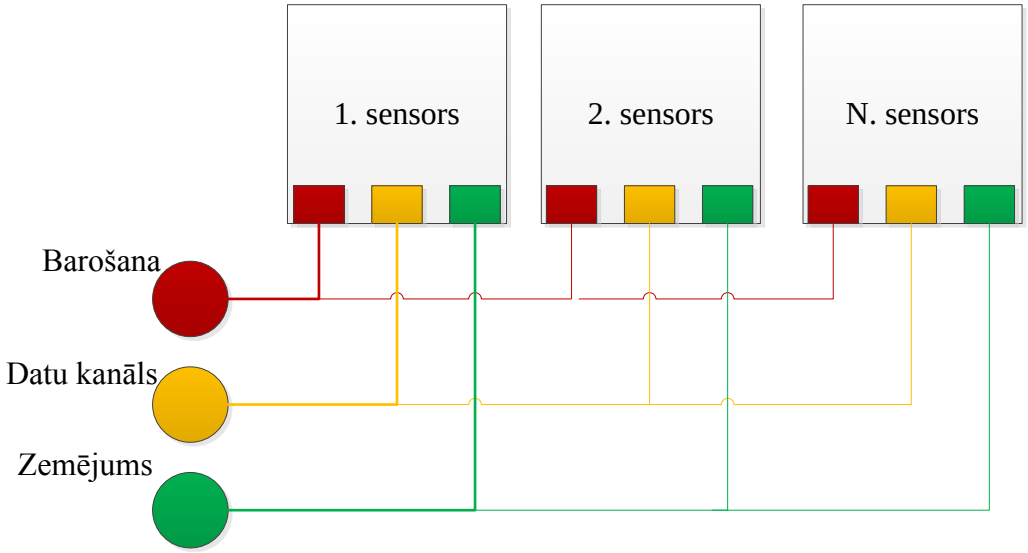
1.14. att. ***iButton* tipa sensors.**
Avots: http://www.maxim-ic.com/products/ibutton/ibuttons/.

Ir veikti dažādi šādi pētījumi, kad stropos ir ievietoti vairāki temperatūras sensori, kuri uz digitālā termometra ekrāna, kas ir izvietots ārpus bišu stropa, atspoguļo tikai mērījumu rezultātus (skat. 1.15. att.). Bet, pēc autora domām, tas nav ērts risinājums, jo dati automātiski netiek nekur saglabāti un var būt apskatīts tikai pašreizējais temperatūras stāvoklis stropā vai parādīta neliela datu vēsture (atkarībā no displeja funkcionalitātes). Tomēr tas norāda, ka temperatūras mērījumi tiek uzskatīti par svarīgu informāciju bišu saimes uzvedības pētīšanai.

1.15. att. **Bišu strops ar iebūvētiem temperatūras sensoriem.**
Avots: http://www.beebehavior.com/livecam.php.

Par alternatīvu pogas tipa sensoriem var uzskatīt vadu sensora tīklu lietošanu. Šodien izplatīts ir 1-vada tīkla (no angļu val. *one wire network*) protokols, balstoties uz kura ir realizēts arī autora praktiskais darbs. 1-vada tīkla protokols ir izstrādāts *Dallas Semiconductors* kompānijā ar mērķi nodrošināt ērtu un komfortablu veidu kā pārraidīt vienā tīklā savienoto ierīču integrēto strāvas avotu. Izmantojot šādu pieslēguma veidu, tīklā var saslēgt dažāda veida ierīces un sensorus, kurus piedāvā *Dallas* kompānija.

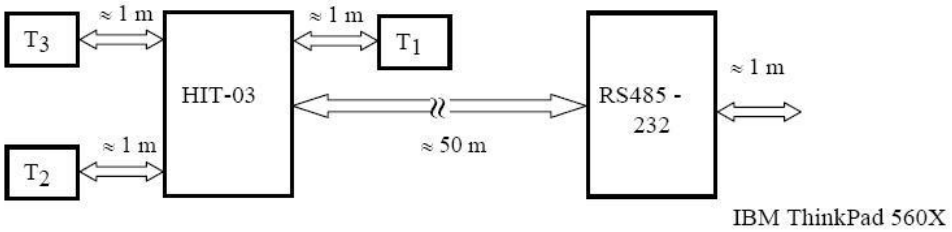
1-vada tīklā devēju pieslēgšanai var izmantot trīs vadu (skat. 1.16. att.) vai divu vadu konfigurāciju (tādā gadījumā sensori tiek baroti, izmantojot datu kanālu):



1.16. att. **Tipiskā 1-vada tīkla pieslēguma shēma ar trīs vadiem.**
Avots: Autora veidots attēls.

Tieši precīzās lauksaimniecības gadījumā būtiska ir ekonomiska un droša datu iegūšana no vairākiem telpiski izvietotiem objektiem. 1-vada sistēma ļauj veidot gandrīz neierobežotu sensoru daudzuma sistēmu; samazināt pieslēgšanas līniju (vadu) garumu; izslēgt līnijas garuma iespaidu uz rezultāta precizitāti, jo visas pārraides notiek diskrētā formā (Baums et al., 2004).

Vēl viens pētījums, kura laikā tika reģistrēti temperatūras, mitruma un rasas punkta izmaiņas stropā, lietojot trīs digitālos sensorus, tika veikts 2004. gadā, Rumānijā. Pētījuma mērķis bija izveidot uzraudzības sistēmu, balstoties uz aktuāliem programmatūras un aparatūras produktiem, ar iespēju nepārtraukti novērot klimata parametrus un to ietekmi uz bišu uzvedību (skat. 1.17. att.). Uzraudzības uzdevums bija atrast, kādas nevēlamas ietekmes var notikt, un izstrādāt metodes to novēršanai (Vornicu, Olah, 2004).



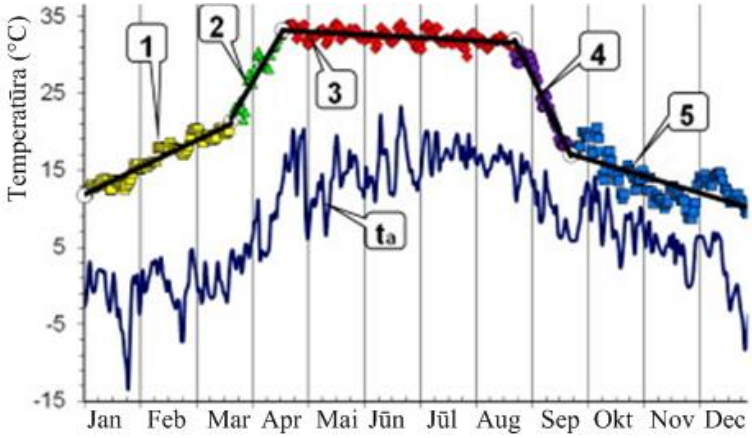
1.17. att. ***O. Vornicu* izstrādātās sistēmas koncepcija (T1, T2, T2 ir mērīšanas devēji, *HIT* – datu pārsūtīšanas modulis).**
Avots: (Vornicu, Olah, 2004).

Mērījumi tika veikti nepārtraukti, ar desmit minūšu intervālu. Datu saglabāšanai tika lietota specializēta programmatūra „*Lookout*", ar kuras palīdzību ir iespēja arī datus attēlot grafiski (Vornicu, Olah, 2004).

Pēc promocijas autora domām, šā pētījuma galvenais trūkums ir tas, ka tika izmantots tikai viens bišu strops un ir gandrīz neiespējami objektīvi analizēt un spriest par datiem pēc viena objekta rezultātiem.

Zinātniski vērtīgs pētījums notika 2000. gadā Rīgā, Latvijā, kad A. Bērzoņa vadībā tika novērotas temperatūras izmaiņas četrpadsmit bišu stropos vienā gadā.

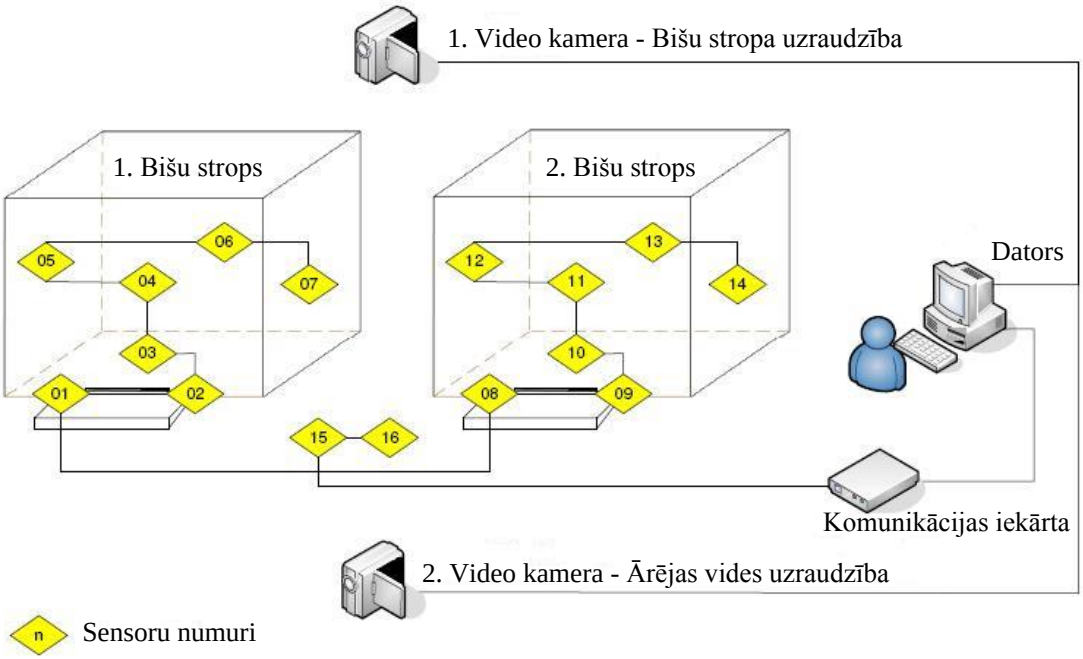
Mērījumu mērķis bija, novērojot bišu stropa temperatūras izmaiņas Latvijas mainīgajos klimatiskajos apstākļos, noteikt bišu aktivitātes posmu sākuma un beigu datumu, kā arī to ilgumu (skat. 1.18. att.). Temperatūras sensori, ko izmantoja pētnieki, bija *Dallas* kompānijas *ds18s20* sensori, un tie tika novietoti virs bišu kamola, zem spilvena, un tika uzraudzīti 14 stropi, kas ir pietiekams skaits, lai uzskatītu eksperimentu par objektīvu un vērā ņemamu. Temperatūras mērījumi tika veikti ar 15 minūšu intervālu. Rezultātā tika izdalīti seši bišu aktivitātes posmi, kuri tiek raksturoti ar kamola temperatūras izmaiņu ātrumiem (Stalidzans, Berzonis, 2013).



1.18. att. **Pieci periodi ar vidēju bišu stropa temperatūru un ārējā gaisa temperatūru (ta) 2000.gadā.**

Avots: (Stalidzans, Berzonis, 2013).

Vēl viens nozīmīgs eksperiments tika veikts Jelgavā, Latvijā, 2008. gadā. J. Meitalovs izveidoja temperatūras un mitruma mērījumu uzturēšanas sistēmu ar mērķi noteikt bišu spietošanas momentu un novērst to (skat. 1.19. att.). Izstrādāto sistēmu veido temperatūras un mitruma devēju tīkls, mērījumu uzturēšanas sistēmas vadības programma un video novērošanas sistēma (Meitalovs et al., 2009).



1.19. att. **J. Meitalova izstrādātās sistēmas koncepcija.**

Avots: Autora pielāgots attēls no (Meitalovs et al., 2009).

Ar izstrādāto sistēmu tika veikti eksperimenti ar divām *apis mellifera* medus bišu saimēm. Pēc veiksmīgiem eksperimentiem tika secināts, ka sensoru rādījumi ir atkarīgi no devēja izvietojuma stropā, piemēram, izvietotais devējs stropa vidū rāda, ka temperatūras un mitruma izmaiņas diennakts laikā ir nelielas, bet izvietotais devējs stropa sienā rāda daudz lielākas izmaiņas. Dati no ārējiem devējiem rāda, ka ārējā temperatūra un mitrums ietekmē iekšējo temperatūru un mitrumu.

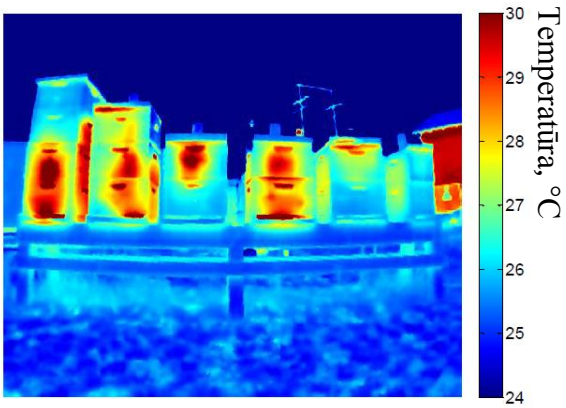
L. Fahrenholz veica pētījumu, kura laikā mērīja temperatūru trijās vietās bišu stropā, pētīja tās izmaiņas atkarībā no ārējas temperatūras izmaiņām un arī mērīja, cik daudz siltuma tiek saražots stropa iekšienē (Fahrenholz et al., 1989).

B. Chuda-Mickiewicz and *J. Prabucki* pētīja, kā bišu kamols pārvietojas ziemā pie dažādām ārējām temperatūrām. Tika secināts, ka pie temperatūras, kas ir zemāka par +0°C, bišu kamols paliek nekustīgs, bet pie temperatūras, kas ir virs +0°C, termiskais centrs pārvietojas vienā virzienā (Chuda-Mickiewicz, Prabucki, 1996).

Izpētot literatūru, darba autors secināja, ka bišu saimes temperatūra tika uzraudzīta, arī lietojot infrasarkano attēlojumu (Kleinhenz et al., 2003; Eskov, Toboev, 2009; Shaw et al., 2011).

E. K. Eskov un *V. A. Toboev* lietoja termisku attēlveidošanas metodi, ar mērķi uzraudzīt termiskus procesus bišu klasterī ziemošanas laikā. Autori atklāja termiskā lauka izplatīšanās tendences bišu klasterī (Eskov, Toboev, 2011).

J. Shaw savā pētījumā pielietoja infrasarkano attēlojumu, lai noteiktu aptuveno bišu saimes skaitu, neatverot bišu stropu un neietekmējot bišu mieru (skat. 1.20. att.). Pēc autora atziņām, vislabākais rezultāts tika sasniegts no rīta, tieši pirms saules lēkta, kad ir maksimālais kontrasts starp stropa un ārējo gaisa temperatūru (Shaw et al., 2011).



1.20. att. **Bišu stropu infrasarkanais attēlojums.**
Avots: (Shaw et al., 2011).

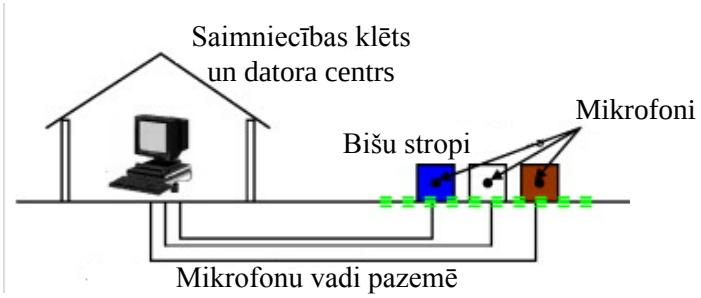
- **Bišu saimes skaņas mērījumi**

Bišu saimes temperatūras mērīšana nav vienīgais veids, pēc kā var spriest un secināt par saimes uzvedību. Mūsdienās var pielietot arī skaņas apstrādes metodes, lai noteiktu bišu uzvedības nianses (Dietlein, 1985; Ferrari et al., 2008; Mezquida, 2009; Eskov, Toboev, 2010).

A. D. Mezquida savā pētījumā akcentē uzmanību, ka ir svarīgi operēt ar nepārtauktu informāciju par bišu spietošanu, un piedāvā platformu bišu uzraudzībai, balstoties uz bišu saimes skaņas analīzi. Analizējot datus, viņš secināja, ka pastāv vairākas tendences un datu līknes, kuras atbilst kādam konkrētam bišu uzvedības

raksturojumam un saimes stāvoklim. Tas savukārt parāda skaņas potenciālu bišu spietošanas aktivitātes mērīšanai (Mezquida, 2009).

S. Ferrari izmantoja akustisko metodi, balstoties uz skaņas marķēšanu, lai paredzētu bišu saimes spietošanas momentu, jo arī viņš uzsvēra, ka spietošanas dēļ biškopjiem ir lieli materiālie zaudējumi (skat. 1.21. att.). Eksperimentā ar trim saimēm viņš novēroja, ka saimes skaņa pirms spietošanas mainās un to ir iespējams fiksēt (Ferrari et al., 2008).



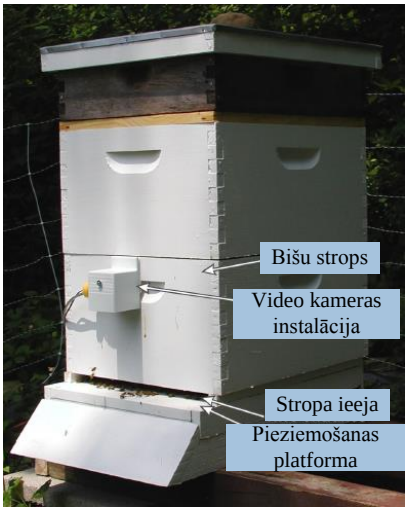
1.21. att. ***S. Ferrari* eksperimenta konfigurācija.**
Avots: (Ferrari et al., 2008).

E. K. Eskov un *V. A. Toboev* piedāvā nestacionāro akustisko procesu analīzes metodi. Piedāvāta metode balstās uz atkārtotas integrācijas principu, kas ļauj izsekot skaņas izmaiņas tendencēm laika intervālos. Metode var tikt pielietota, lai atpazītu novirzes no pamatstāvokļiem. Savu metodi autori apstiprināja, pētot sakarības starp bišu fizioloģisko stāvokli un izdalītajām trokšņu struktūrām (Eskov, Toboev, 2010).

- **Citas bišu saimes novērošanas metodes**

Ar video kameras palīdzību var novērot bišu aktivitāti stropa ieejā, bet pagaidām netiek realizēta video novērošana stropa iekšienē.

J. Campbell izveidoja sistēmu bišu vizuālajai novērošanai, jo bišu lidošanas aktivitāte ir svarīgs indikators bišu spēkam un stāvoklim (skat. 1.22. att.). Autors piedāvā lietot video, lai uzraudzītu stropa ieeju (vieta, no kurienes bites izlido no stropa). Autors izstrādāja algoritmus un programmatūru video attēla iegūšanai un tālākai analizēšanai (Campbell et al., 2008).



1.22. att. ***J. Campbell* video novērošanas sistēmas konfigurācija.**
Avots: (Campbell et al., 2008).

B. Kraus un *H. H. W. Velthuis* izpētīja relatīvā gaisa mitruma ietekmi uz bišu ērcītes reprodukcijas spēju (Kraus, Velthuis, 1997).

H. Human ar līdzautoriem akcentē, ka ir veikti daudzi pētījumi par bišu termoregulācijas īpašībām, un maz ir zināms par to, kā gaisa mitrums tiek regulēts bišu stropā. Savukārt tieši augsts mitrums ir nepieciešams peru audzēšanai un attīstībai. Veicot eksperimentu, autori izmanto vairākus mitruma datu rakstītājus. Rezultātā autori secina, ka mitrumu stropā ietekmē darba bites (Human et al., 2006).

E. Southwick ar līdzautoriem salīdzināja skābekļa patēriņu starp afrikāņu un eiropiešu bitēm (Southwick et al., 1990).

M. Bencsik ar līdzautoriem pētījumā parādīja, ka, lietojot vienkāršu devēju, kas ir piestiprināts pie ārējās stropa sienas, var uzraudzīt neatkarīgas momentānas bišu saimes vibrācijas signālus ar mērķi paredzēt bišu spietošanas momentu (Bencsik et al., 2011).

C. Liu ar līdzautoriem izstrādāja datorā balstītu sistēmu, lai pētītu bišu uzvedību. Sistēmas galvenā funkcija ir skaitīt, cik daudz bišu izlidoja un/vai ielidoja bišu stropā, kā arī noteikt to lidošanas virzienu (C. Liu et al., 1990).

1.2.2. Bišu ziemošanas procesa vadība

Promocijas darba ietvaros daudzu objektu bioloģiskās sistēmas datorvadība un uzraudzība ir demonstrēta, lietojot adaptīvo vadības sistēmu un vadu temperatūras tīklu ar mērķi optimizēt un automatizēt bišu ziemošanas procesa vadību. Bišu ziemošana ir labs piemērs šādas sistēmas demonstrācijai, jo (Stalidzans, 2005):

- bišu saime ir viens no trim sociālajiem kukaiņiem (tādi vēl ir termīti un skudras). Šis nosacījums ļauj daudzobjektu kopu (bišu saimi) uzskatīt par labi norobežotu sistēmu, it īpaši ziemas apstākļos;
- daudzas bišu saimes ir iespējams novērot identiskos klimata apstākļos un vienādos mājokļos (stropos) vienas dravas ietvaros. Tas ļauj kvalitatīvi salīdzināt saimju uzvedību;
- ziemas apstākļos bišu saimes neietekmē cita citu, jo atrodas katra savā stropā;
- ziemas periodā biškopis neiejaucas ziemošanas procesā, tādējādi netraucējot ilgstošo eksperimentu norisi;
- veiktie eksperimenti (galvenokārt temperatūras mērījumi) neietekmē bišu ziemošanas procesu, jo elektroniskie devēji ir iebūvēti stropā, pirms ziemošanas perioda sākuma;
- kā arī ieplānotā pētījuma veikšanai autoram ir pieejama Latvijas Lauksaimniecības universitātes bišu drava.

Vienkāršojot bišu ziemošanas norisi, bieži par galvenajiem tiek uztverti siltuma procesi, lai gan pastāv vēl vairāki dzīvībai kritiski mikroklimata parametri, kuru pētniecībai nepieciešama kompleksa pieeja. Informācijas par ziemošanas procesiem ir maz, un tā ir nekvalitatīva, jo jebkāda iejaukšanās saimes ziemošanas procesā, arī parametru mērīšanas nolūkos, uzbudina saimi, un mērījumi, kā arī spriedumi par notiekošajiem procesiem bieži vien tiek nekorekti interpretēti (Stalidzans, 2005).

Tradicionāli bites tiek ziemotas stropos ārā. Ziemas periods ir pasīvais periods bišu saimes gada ciklā, kura laikā bites neizlido no stropa un neaudzē vai audzē nelielos apjomos jaunās bites.

Bites ziemojot galvenokārt patērē medu, kas parasti ir medus un bišu pārstrādātā cukura sīrupa maisījums. Šis punkts ir galvenā ziemošanas izdevumu sastāvdaļa. Tā kā barības patēriņu nevar tieši vadīt, nepieciešams uz to iedarboties ar citiem parametriem.

Medus patēriņš ziemā ir atkarīgs no mikroklimata stropā. Līdz ar to mikroklimata parametri ir uzskatāmi par vadāmo parametru kopu, lai samazinātu šo izdevumu punktu.

Pastāv trīs mikroklimata parametri, kuri bitēm var izrādīties kritiski un kurus bites prot regulēt, ja barība ir pietiekamā daudzumā (Jeskov, 1983):

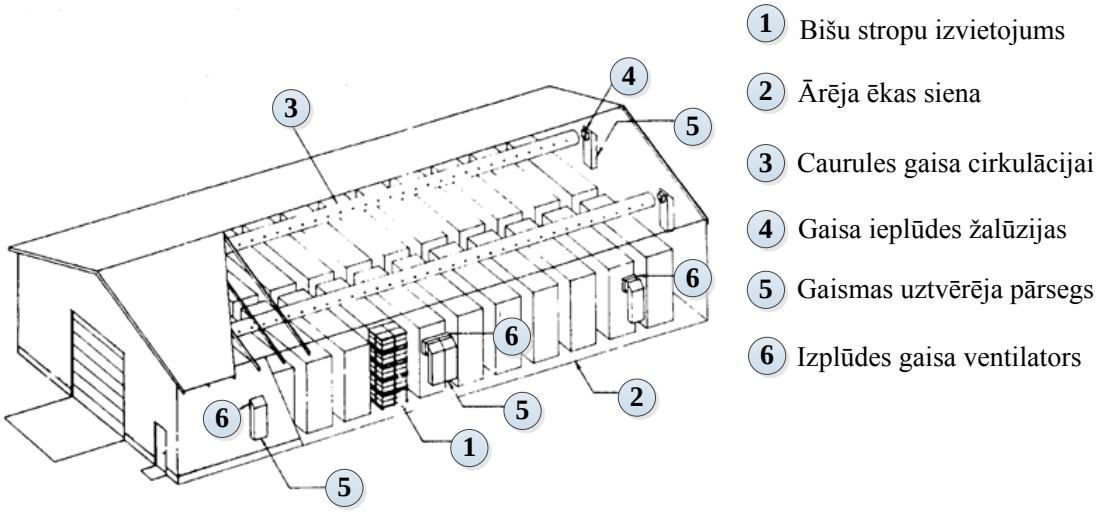
- temperatūra kamolā. Ziemā bites galvenokārt cīnās par to, lai kamolā saglabātos augstāka temperatūra nekā temperatūra ārpus stropa. Ziemā parasti netiek risināts temperatūras pazeminināšanas uzdevums. Piemēram, ja āra temperatūra ir +5°C, kamola centrā bites var uzturēt +32°C, kamola malās atstājot +9°C (Southwick, 1992). Kritiskā bites ķermeņa temperatūra, pie kuras bites sāk stingt aukstuma dēļ, ir -10°C, ja tādā temperatūrā atrodas ilgstoši. Zemākas temperatūras izraisa ātrāku sastingumu un nāvi. Bišu pārkaršana ziemā iespējama tikai anomālos gadījumos;
- relatīvais mitrums ziemā var būt gan par lielu, gan par mazu. Tā vēlamās robežas ir 38 – 70%, kas atbilst absolūtajam mitrumam 10-20 g/m^3;
- gāzu sastāvs bišu kamolā ir visai kompleksa parādība, kuru var reducēt uz ogļskābās gāzes un skābekļa saturu. Kā raksturīgākais rādītājs tiek izmantots ogļskābās gāzes (CO_2) koncentrācija. Ja gaisā brīvā dabā skābekļa daudzums ir 20.95%, tad ogļskābajai gāzei tas ir 0.0314%.

Ziemā Latvijas apstākļos iet bojā ap 10-30% bišu saimju, kas veido ievērojamus zaudējumus biškopībā. Protams, ir gadi, kad bojāgājušo saimju skaits ir ārpus minētā diapazona (balstoties uz Latvijas Biškopības asociācijas datiem).

Bišu saimju bojāejas iemesli ir ļoti dažādi:

- dzīvnieku un cilvēku mehāniskie postījumi (lāču un citu dzīvnieku apgāztie stropi, peļu, caunu un cilvēku ielaušanās stropā un tā izlaupīšana u.c.);
- bišu slimību izraisītie;
- nepietiekamie barības krājumi;
- klimatiskie apstākļi (it īpaši biežās temperatūrās maiņas no negatīvām uz pozitīvām).

Saskaņā ar vairāku autoru pētījumiem ir noteikts barības patēriņš atkarībā no āra temperatūras, un šai sakarībai ir izteikts minimums pie kādas noteiktas āra temperatūras. Precīzākie un ticamākie ir *J. Jeskova* dati, saskaņā ar kuriem minimālais barības patēriņš ir pie +8°C (Jeskov, 1983). Ja āra temperatūra ir zemāka par +8°C, barības patēriņš palielinās lēni, bet, pieaugot āra temperatūrai, barības patēriņš pieaug aptuveni piecas reizes straujāk, nekā temperatūrai pazeminoties. Saskaņā ar iepriekš analizēto sakarību var secināt, ka āra gaisa temperatūra +8°C nodrošina apstākļus, kad barības patēriņš ir minimāls un minēto mikroklimata parametru vērtības ir pieņemamas bioloģiskajai sistēmai. Tā kā nav informācijas par pārējiem minētajiem mikroklimata parametriem, situācijā, kad āra gaisa temperatūra ir +8°C, pieņemam, ka šo mikroklimata parametru vērtībām jāatrodas to pieļaujamajā diapazonā no bišu izdzīvošanas viedokļa. Ir saprotams, ka ziemā nodrošināt ārējo temperatūru uz +8°C ir iespējams tikai noslēgtā telpā ar sildītāja palīdzību. Šādas speciālās telpas tiek sauktas par bišu ziemotavām (skat. 1.23. att.):



1.23. att. **Kanādā realizētā bišu ziemotava ar vadāmu mikroklimatu.**
Avots: Autora pielāgots attēls no (Fingler, Small, 1982).

Līdz šim Latvijā bišu ziemotavas praktiski netiek lietotas. Ilggadēji novērojumi Vecbebru biškopības tehnikumā (Ārgalis et al., 1970) liecināja, ka uzturēt apsildāmu ziemotavu Latvijā ir dārgi. Savukārt Kanādā ziemotavas tomēr tiek sekmīgi lietotas (Furgala, McCutcheon, 1992; Fingler, Small, 1982).

Attīstoties ziemotavu ierīkošanas tehnoloģijām, par nozīmīgāku atzīta mikroklimata regulēšana (Fingler, Small, 1982). Racionālas bišu ziemotavas būves un aprīkojuma aprēķins Latvijas apstākļiem arī tika veikts (Kristapsons et al., 1996).

Aplūkojot ziemotavu izmantošanas praksi pasaulē, var secināt, ka tās tiek lietotas klimatiskajos apstākļos ar īpaši bargām ziemām (ziemotavas plaši tiek lietotas Kanādā), kur bišu zieminināšana ārpus telpām nes zaudējumus, jo ir liela bišu mirstība. Tā kā ļoti zemās āra temperatūrās bišu siltumjauda ievērojami pieaug, izdzīvošanas perspektīvas var saistīt ar paaugstinātu bišu fizioloģisko novecošanu, kas var būt saimes bojāejas cēlonis, neskatoties uz pieejamo pietiekamo daudzumu kvalitatīvas barības.

Autors promocijas darba laikā ir izstrādājis bišu ziemotavas mikroklimata vadības sistēmu kopā ar individuālo bišu saimes temperatūras mērīšanas sistēmu.

Temperatūras mērījumi galvenokārt tiek veikti, lai savlaicīgi brīdinātu biškopi par konkrētas bišu saimes gatavošanos perošanai un nepieciešamības gadījumā ļautu apturēt šo procesu. Ir izvirzīta hipotēze, kuru nepieciešams pārbaudīt: perošanas stāvoklī mainās bišu saimes darbības režīms un strauji palielinās temperatūra bišu stropā.

Lai īstenotu ieplānoto eksperimentu, ir jāņem vērā šādi nosacījumi un ierobežojumi:

- temperatūras sensoriem jābūt pēc iespējas mazāka izmēra;
- nedrīkst būt liels siltuma izdalījums no sensoriem, lai neietekmētu bišu saimes uzvedību;
- ir jānodrošina nepārtraukts mērījumu nolasīšanas process ar iespēju datus saglabāt to tālākai apstrādei;
- ir jānodrošina sensoru barošana ilgstošai darbībai;
- ir jāizveido brīdinājuma mehānisms, kad temperatūra pārsniedz kritiskās robežas;
- ir jāizveido vienkāršā tīmekļa saskarne nepārtrauktai un ērtai piekļuvei temperatūras datiem.

Analizējot pieejamo literatūru, autors nav konstatējis eksperimentālus pētījumus, kuros vienlaicīgi būtu uzraudzītas vairākas bišu saimes ar patstāvīgiem ārējiem mikroklimata parametriem, ar mērķi reālajā laikā uzraudzīt un adaptīvi vadīt bišu ziemošanas procesu.

1.2.3. Aptauja par precīzās biškopības tehnoloģijas aktualitāti

Promocijas darba laikā autors ir izstrādājis un veicis pētījumu ar biškopības speciālistiem par precīzās biškopības zinātni, to aktualitāti un par promocijas darba veiktiem eksperimentiem. Pētījums tika veikts, izmantojot kvantitatīvo pētījuma metodi – anketēšanu. Kvantitatīvā metode tika izmantota tāpēc, lai noskaidrotu bišu saimju ziemošanas procesa svarīgumu un norisi, par iespēju lietot vadības sistēmu un metodes ikdienas biškopju praksē, kā arī lai noskaidrotu biškopības pārstāvju viedokli par autora promocijas darba pētījumu.

Pētījuma izlases veidošanas metode ir mērķtiecīgā metode un pieejamības metode, kad respondenti tiek atlasīti:

- pēc profesijas (pēc darbošanās nozares - biškopība);
- pēc ģeogrāfiskās lokācijas – Latvija.

Izlases veids ir mērķtiecīgā izlase – iekļauj elementus, par kuriem pētnieks ir pārliecināts, ka tie derīgi un nozīmīgi. Aptaujas respondenti tika sasniegti, sadarbojoties ar Latvijas Biškopības biedrību (LBB), izmantojot elektronisko komunikāciju.

Aptauja tika veikta 2011. gada pavasarī. Uz to brīdi LBB bija reģistrēti 2240 biedri. Aptaujas anketa tika izsūtīta visiem LBB reģistrētajiem biedriem, bet aizpildītu aptaujas anketu atsūtīja 4.46% no visiem respondentiem, kas veido izlasi (n=100).

Aptaujā tika iekļauti 22 jautājumi (aptauju un aptaujas rezultātus skat. 1. pielikumā). Aptaujā tika iekļauti tikai tādi jautājumi, kuri atbilst promocijas darba tematikai. Jautājumi tika validēti, konsultējoties ar dažiem LBB speciālistiem.

Apkopojot aptaujā iegūtos datus, promocijas darba autors secina vairākas atziņas:

- visi respondenti atbildēja, ka bišu ziemošanas procesu var uzskatīt par svarīgu bišu saimju dzīves ciklā, kas nozīmē, ka šī procesa izpētei ir jāvelta pietiekami liela uzmanība;
- visi respondenti atbildēja, ka pastāv iespēja, ka bišu saime var iet bojā ziemošanas laikā, kas nozīmē, ka ir nepieciešams bojā ejas iespēju minimizēt un uzraudzīt aktuālo saimes stāvokli;
- 97% respondentu ziemina savas bišu saimes atklātā vidē un 87% respondentu ir informēti par iespēju izmantot specializētas ziemotavas. Savukārt 51% respondentu apsvērtu domu zieminināt bišu saimes specializētā ziemotavā, kas norāda uz to, ka ir daudz biškopju, kas ir gatavi pievērsties jaunām bišu saimju zieminināšanas tehnoloģijām;
- jautājumos par klimatisko parametru ietekmi uz bišu ziemošanas procesu – 70% respondentu norādīja, ka temperatūrai ir ietekme uz šo procesu, un 55% respondentu apgalvoja, ka temperatūra ir svarīgākais klimatiskais parametrs;
- jautājumā par barības patēriņa izmaiņām, balstoties uz ārējās temperatūras izmaiņām – 83% respondentu norādīja, ka patēriņš palielinās, pazeminoties gaisa temperatūrai, un 83% respondentu apgalvoja, ka patēriņš samazinās, ja bišu saime atrodas pastāvīgos labvēlīgos klimatiskajos apstākļos. Šīs atbildes pamato ziemotavas izmantošanas lietderīgumu ziemošanas procesā, jo

ziemotavas gadījumā bišu saimes barības patēriņš var būt minimāls, ja tiek uzturēti pastāvīgi labvēlīgi mikroklimata parametri;

- analizējot jautājumus par stropu temperatūras mērīšanas sistēmas izmantošanu, var secināt, ka 96% respondenti apstiprināja, ka pēc bišu kamola temperatūras var spriest par bišu saimes aktivitāti. 86% respondentu informācija par aktuālo bišu saimes stāvokli stropā ziemošanas laikā būtu noderīga, un 79% respondentu informācija par bišu saimes bojāeju ziemošanas laikā būtu noderīga. Šie dati pamato mērīšanas sistēmas izmantošanas noderīgumu;
- jautājumos par iespēju ietekmēt bišu saimes aktivitāti un vadīt perošanas procesu ziemošanas laikā ar ārējās temperatūras izmaiņām – 92% respondentu uzskata, ka ir iespējama ietekme, 73% respondentu apgalvo, ka var palēnināt bišu perošanas procesu, un 38% uzskata, ka to var pat pilnīgi apturēt;
- analizējot pēdējos aptaujas jautājumus par precīzās lauksaimniecības un precīzās biškopības zinātnēm – tikai 29% respondentu ir dzirdējuši par PL zinātni, bet 83% respondentu apstiprina, ka varētu pastāvēt tāda zinātne, kā precīzā biškopība.

Veicot aptaujas rezultātu pilno analīzi un konsultējoties ar biškopības ekspertiem, promocijas darba autors secina, ka pēc biškopju speciālistu viedokļa, darba pētījums un tā praktiskā novitāte ir noderīga un aktuāla. Praktiski izstrādāta bišu saimes uzraudzības un vadības sistēma var būt pielāgota saimnieciskajai darbībai ar nosacījumu, ka būs novērtēti tās ekonomiskie aspekti.

Nodaļas secinājumi

Biosistēmu datorvadības sistēmās tiek izmantotas dažādas sensoru tīklu konfigurācijas, komunikācijas tehnoloģijas un enerģijas apgādes veidi atkarībā no pielietojuma vides un citām īpatnībām.

Bioloģisko procesu vadības laikā būtiski ir ne tikai nodrošināt bioloģiskajam objektam vispārzināmus labvēlīgus vides apstākļus (piem., temperatūra, mitrums, barības vielas), bet arī nodrošināt atgriezenisko saiti novērojot ar vadāma objekta attīstību saistītos parametrus (piem., masas pieaugumu, aktivitātes līmeni, krāsu, radīto siltumu) vadītajā vidē. Šādu pieeju realizē arī precīzā lauksaimniecība. Paplašinot lietojuma sfēru ārpus lauksaimniecības un realizējot ar IKT palīdzību, to var saukt par biosistēmu precīzo datorvadību.

Precīzās lauksaimniecības metodes ir lietojamas risinot, lauksaimniecības efektivitātes uzlabošanas uzdevumus vairākās lauksaimniecības nozarēs, piemēram, vīnkopībā, lopkopībā, dārzkopībā un citās. Tomēr ne visās nozarēs ir izstrādāti precīzās lauksaimniecības lietošanas principi un metodes.

No PL ieviešanai nepieciešamajam trim fāzēm – datu ieguve, datu analize un vadības realizācija, visvairāk PL adaptāciju un attīstību ierobežo datu analīze.

Apskatot PL tehnoloģijas un metodes, autors ir secinājis, ka PL pieeju ir iespējams lietot, arī risinot biškopības problēmas, un var definēt atsevišķu PL virzienu ar nosaukumu - precīzā biškopība (PB). Precīzā biškopība ir dravas vadības stratēģija, balstoties uz individuālās bišu saimes uzraudzību, ar mērķi minimizēt bišu saimes resursu patēriņu un maksimizēt bišu produktivitāti.

Par PB demonstrācijas piemēru ir izvēlēta automatizētā bišu saimes ziemošanas procesa uzraudzība un vadība specializētā bišu ziemotavā.

2. AUTOMATIZĒTAS VADĪBAS SISTĒMAS ARHITEKTŪRA PRECĪZAI BIOSISTĒMU VADĪBAI

Ar automatizētas sistēmas palīdzību ir iespējams atvieglot cilvēka darbu vai pat pilnīgi to aizvietot. Tieši tāpēc automatizētās sistēmas arhitektūra nedaudz atgādina cilvēka fizisko uzbūvi: par maņas orgāniem lieto sensorus un mēriekārtas, rokas, kājas un runas orgāni ir aizvietoti ar izpildiekārtām, bet smadzeņu loma ir datoram vai kontrollerim. Pateicoties šādai analoģijai, automatizētās vadības sistēmas arhitektūru var saprast intuitīvi. Taču, izstrādājot konkrētas sistēmas, rodas daudzi sarežģīti praktiskie jautājumi, kuri skar gan standartizāciju, drošību, komerciālo efektivitāti, tehnoloģijas, precizitāti un citus jautājumus, kurus ir nepieciešams atrisināt un ņemt vērā jau vadības sistēmas projektēšanas stadijā.

Turpinot promocijas darba izklāstu, ir nepieciešams paskaidrot vairākus terminus un definēt, kāda ir to atšķirība. Termini ir: *automātisks*, *automatizēts*, *vadība*, *kontrole*, *uzraudzība* un *regulēšana*.

Galvenā atšķirība starp *automatizētu* un *automātisku* sistēmu ir cilvēka roku darba apjoms jeb cilvēka piedalīšanās sistēmas darbībā. Ja automātiskā sistēma darbojas pilnīgi bez cilvēka iejaukšanās, tad automatizētā sistēma automātiski pilda dažas funkcijas, bet ne visas, un, cilvēks izpilda pārējās nepieciešamās darbības.

Regulēšana ir viena ražošanas (vai vadības) procesa mainīga uzturēšana uzdotajā vērtību intervālā. Kāda fizikāla lieluma nemainīgas vērtības uzturēšana vai vērtības maiņa pēc uzdotā likuma (*www.termnet.lv*).

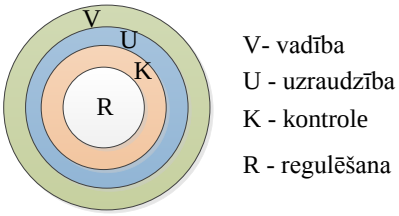
Kontrole ir ražošanas (vai vadības) procesa mainīgo nolasīšana un to salīdzināšana ar teorētiski nepieciešamajām vērtībām. Kontrole ir vajadzīga, lai konstatētu vadības problēmu un veiktu kādas ārpus kārtas regulēšanas vai remontus.

Uzraudzība ir sinonīms vārdam *kontrole*. Tikai *uzraudzība* ir nedaudz plašāks termins par *kontroli*. Kontroli var veikt ar tehniskām lietām, bet uzraudzība ietver cilvēka klātbūtni procesā. Uzraudzības sistēma ir sistēma, kas nodrošina kāda procesa vai parādības nepārtrauktu novērošanu, novērtēšanu un analīzi, lai veiktu korekcijas. Šādu sistēmu piemēri ir ūdens kvalitātes uzraudzība upē, gaisa kvalitātes, veselības un sirds slimnieka uzraudzība (*termini.lza.lv*).

Vēl ir nesen parādījies termins *monitorings*, kas pēc būtības ir anglicisms un latviski ir tulkojams kā uzraudzība. Bet termins *monitorings* ir iekļauts akadēmiskajā terminu datubāzē http://termini.lza.lv.

Vadība ir mērķtiecīgs iedarbības process uz kādu objektu, lai panāktu tā noteikta veida funkcionēšanu (http://termini.lza.lv.).

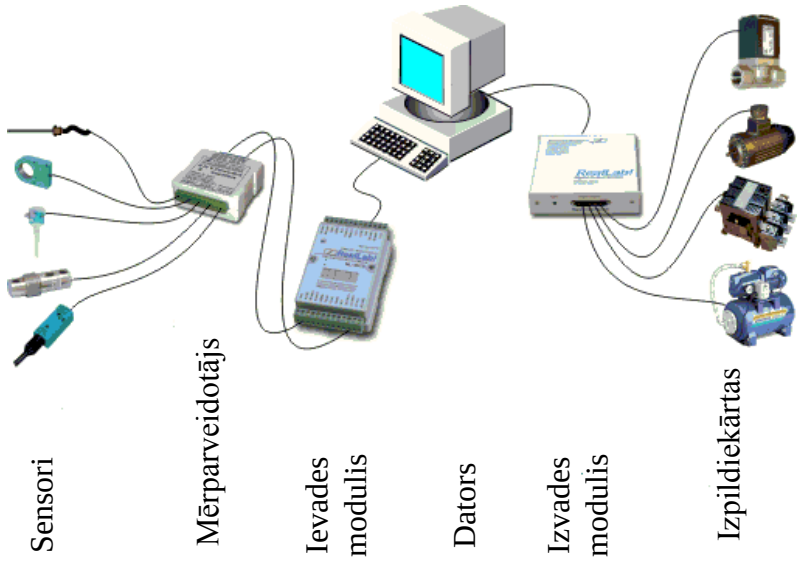
Visu iepriekš minēto terminu savstarpējās attiecības var demonstrēt arī grafiski (skat. 2.1. att.).



2.1. att. **Četru vadības jēdzienu savstarpējās attiecības.**
Avots: Autora veidots attēls.

AVS arhitektūra ir vadības sistēmas abstraktais attēlojums, kurš ietver sevī sistēmas komponenšu (elementu) idealizētus modeļus, kā arī komponenšu mijiedarbības modeļus. Arhitektūras elementi ir saistīti viens ar otru un izveido veselu automatizētu sistēmu un palīdz nodrošināt konkrēta uzdevuma risinājumu jau arhitektūras līmenī. Tajā pašā laikā sistēmas arhitektūra atstāj pietiekami daudz brīvības, izvēloties konkrētus tehniskos risinājumus, un arhitektūra nav piesaistīta vienīgajam risinājumam (Klir, 1990; Denisenko, 2009). Tāpēc pareizi uzprojektēta sistēmas arhitektūra pieļauj dažādas tehniskās realizācijas, izvēloties daudzveidīgas arhitektūras elementus un mijiedarbības metodes.

Vienkāršais automatizētās vadības sistēmas arhitektūras attēlojums ar vienu datoru un vienu ievad-izvad iekārtu ir demonstrēts 2.2. att.:



2.2. att. **Vienkāršā automatizētās vadības sistēmas arhitektūra.**
Avots: Autora pielāgots attēls no (Denisenko, 2009).

Par arhitektūras elementiem kalpo sensoru, ievad-izvad iekārtu, mērīšanas pārveidotāju, PLK, datoru, interfeisu, protokolu, industriālo tīklu, izpildiekārtu modeļi (abstrakcijas).

Vadības sistēmas arhitektūru izstrādā sistēmas arhitekts. Arhitektam ir jābūt zināšanām par pētāmo priekšmetu, par automatizācijas sistēmām, par aparatūras un programmatūras līdzekļiem un citām saistošām sfērām (Klir, 1990).

Izstrādājot arhitektūru, ir nepieciešams paredzēt vairākas topošās automatizētās vadības sistēmas īpašības (Klir, 1990):

- vāja arhitektūras elementu atkarība citam no cita (sadalīšanu sistēmu daļās ir nepieciešams veikt tā, lai informācijas plūsma starp elementu saitēm būtu minimāla);
- testējamība (ir jābūt iespējai noteikt sistēmas pareizo funkcionēšanu);
- diagnosticējamība (ir jābūt iespējai atrast kļūdaino sistēmas daļu);
- remontējamība (ir jābūt iespējai atjaunot sistēmas darbspēju patērējot minimālus laika resursus);
- uzticamība (piemēram, veicot datu rezerves kopēšanu);
- viegla uzturēšana un ekspluatācija;
- drošība (atbilstība industriāliem standartiem);

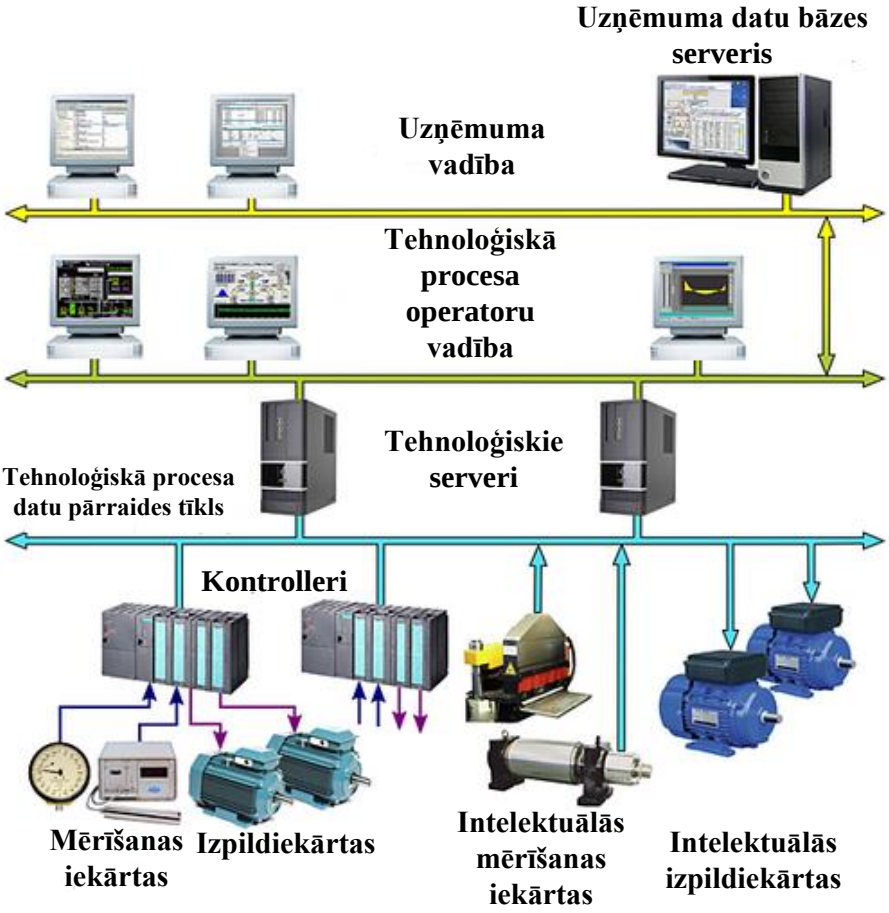
- sistēmas aizsardzība no vandāļiem un nekvalificētiem lietotājiem;
- ekonomiskums (ekonomiskā efektivitāte sistēmas funkcionēšanas laikā);
- modificējamība (ir jābūt iespējai pārkonfigurēt sistēmu, lai pielāgotu to citiem tehnoloģiskiem procesiem);
- funkcionālais paplašinājums (ir jābūt iespējai papildināt sistēmas funkcionalitāti, neapdraudot sistēmas darbību);
- sistēmai ir jābūt atvērtai.

Sistēmas arhitektūra var būt atšķirīga atkarībā no automatizācijas uzdevuma. Iespējamie uzdevumi var būt:

- monitorings;
- automātiskā vadība;
- dispečeru vadība (vadība ar operatora palīdzību, kurš mijiedarbojas ar sistēmu);
- drošības nodrošināšana.

Katrs no iepriekšminētajiem uzdevumiem varētu tikt izpildīts ar lielu attālumu starp automatizēto objektu un pašu sistēmu. Šajā gadījumā parasti runā par telemehānikas uzdevumiem (attālie mērījumi, vadība, signalizēšana), bet, tā kā distanču sakaru kanāli (internets, radiokanāls, vadu kanāli) ir organiski ietverti praktiski jebkādā automatizācijas sistēmā, tad šodien telemehānikas uzdevumus arvien retāk izdala kā patstāvīgu sfēru (Klir, 1990).

2.3. att. ir demonstrēta mūsdienīgā ražošanas procesa automatizācijas vadības sistēmas arhitektūra:



2.3. att. **Mūsdienīga automatizētās vadības sistēmas arhitektūra.**
Avots: Autora pielāgots attēls no (Voskanjanc, 2010).

Sistēmas pirmais līmenis (zemākais līmenis) sastāv no sensoriem, mēriekārtām, izpildiekārtām, kuru uzdevums ir savākt pamatinformāciju par vadības procesu un realizēt vadības iedarbes uz vadības objektu. Šis līmenis tiek saukts arī par ievad-izvad (no angļu val. *Input/Output (I/O)*) vai lauka (no angļu val. *field*) līmeni. Šī līmeņa iekārtas var būt arī intelektuālas.

Nākamais arhitektūras līmenis ir – PLK līmenis. PLK izpilda tieši tehnoloģiskā procesa automātiskās vadības funkciju. Balstoties uz vadības algoritmu un ņemot vērā tehnoloģiskā procesa parametrus, PLK vada vairākas izpildiekārtas. Šis līmenis tiek nosaukts arī par vadības līmeni (no angļu val. *control level*).

Tehnoloģisko datu serveri un automatizētās operatoru darba stacijas veido *SCADA* – sistēmu (no angļu val. *Supervisory Control and Data Acquisition*), kas ir augšējais vadības sistēmas līmenis. Serveri nodrošina *SCADA* sistēmas darbību, atbalstot datu apmaiņas protokolus ar tehnoloģiskām iekārtam.

Augstāk par AVS ražošanas uzņēmumā ir izvietota ražošanas organizācijas sistēma (no angļu val. *Manufacturing Execution System (MES*)), ražošanas plānošanas sistēma (no angļu val. *Manufacturing Resource Planning (MRP)*) un uzņēmuma resursu plānošanas sistēma (no angļu val. *Enterprise Resource Planning (ERP)*).

Demonstrētā uzņēmuma automatizācijas arhitektūra varētu tikt vienkāršota, apvienojot divus blakus esošus hierarhijas līmeņus, bet pieeja principiāli paliek tādi pati.

Balstoties uz mūsdienīgo ideoloģiju, vadības pamatuzdevumi tiek risināti zemākajos līmeņos, kas palīdz paaugstināt sistēmas ātrdarbību un atslogot tīklu no liekas informācijas pārsūtīšanas. Uz augstākajiem vadības līmeņiem tiek pārsūtīti uzdevumi, kuri nevar būt izpildīti zemākajos līmeņos skaitļošanas jaudas trūkuma dēļ.

Pēdējā laikā ir novērota situācija, ka pieaug pieprasījums pēc bioloģisku sistēmu vadības risinājumiem dažādās ražošanas nozarēs, piemēram, var minēt precīzo lauksaimniecību, biotehnoloģijas, farmāciju un citas jomas.

Bioloģisko procesu vadības laikā būtiski ir ne tikai nodrošināt bioloģiskajam objektam labvēlīgus vides apstākļus, bet arī novērot paša objekta svarīgākos parametrus, piemēram, augsnes temperatūru vai mitrumu, auga lapu krāsu vai bišu kamola temperatūru.

Bioloģisko objektu vadības sistēmu tehniskās iespējas augoša pieprasījuma apstākļos ir attīstījušās straujāk nekā izpratne par paša bioloģiskā objekta vadības īpatnībām.

Lielu un sarežģītu bioloģisku sistēmu modelēšanā un izpētē zinātnieki bieži lieto „melnās kastes" principu. Par principa pamatdibinātāju uzskata *U. Ešbiju*. Par „melno kasti" sauc sistēmu, kuras iekšējais saturs zinātniekam nav zināms, bet ir pieejama informācija par sistēmas ieejām un izejām. Tāpat notiek arī ar bioloģiskām sistēmām un bišu ziemošanas procesu. Mums nav zināmi mehānismi, kā bites regulē un adaptējas apkārtējā vidē, bet ir pieejami rīki, ar kuru palīdzību var variēt iespējamos ieejas stimulus un novērot sistēmas reakciju izejās. Tad rezultātā, salīdzinot sistēmas izejas reakcijas, pietiekami lielā novērojumu skaitā ir iespējams analizēt sistēmas izturēšanos, pat nezinot tās iekšējo struktūru (Dukulis, 2011).

„Melnās kastes" princips dod iespēju veikt secinājumus par sistēmas funkcionēšanu pat tādos apstākļos, kuros sistēma nav pilnīgi pārbaudīta. Tieši tāpēc šo principu plaši lieto zinātnieki, it īpaši gadījumos, kad sistēmu nav iespējams analītiski izpētīt (Dukulis, 2011).

„Melnās kastes” principu izmanto arī eksperimentos ar dzīvniekiem, spilgts piemērs ir I.Pavlova atklātais nosacījuma reflekss (Dukulis, 2011).

Bioloģiskā sistēma ir savstarpēji mijiedarbojošos elementu kopums, kuri veido vienu veselu objektu un izpilda konkrētu funkciju, mijiedarbojoties ar apkārtējo vidi un citām sistēmām. Jau Hēgelis aicināja apskatīt dabu kā kāpņu sistēmu. Bioloģiskās sistēmas – tā ir šūna, audums, orgāns, organisms, populācija, ekosistēma un citi. Bioloģiskajam sistēmām piemīt arī patstāvīgas īpašības (*http://www.avifarm.ru*):

- biosistēma izpilda konkrētu funkciju (bioķīmisko, fizioloģisko un citas);
- biosistēmai piemīt veseluma īpašība (sistēmu īpašību summa nav vienāda visu elementu summai);
- biosistēma nepārtraukti mainās;
- biosistēma ir spējīga adaptēties mainīgos apstākļos;
- biosistēma ir spējīga attīstīties un vairoties.

Bioloģiskajām sistēmām piemīt vairākas problēmas, kuras nav raksturīgas tehniskajām sistēmām (Brikman, 1982; Osis, 1979). Bioloģisko sistēmu gadījumā nav iespējas viennozīmīgi noteikt informāciju par sistēmas uzbūves principiem, cēloņu – seku sakarībām un mijiedarbību ar apkārtējo vidi, jo šādas sistēmas nav konstruētas konkrētiem mērķiem ar cilvēka izvēlētu līdzekļu palīdzību. Pastāv vairāki apstākļi, kas ierobežo tehnisku sistēmu pētniecības metožu izmantošanu bioloģiskajās sistēmās (Rubin et al., 1987):

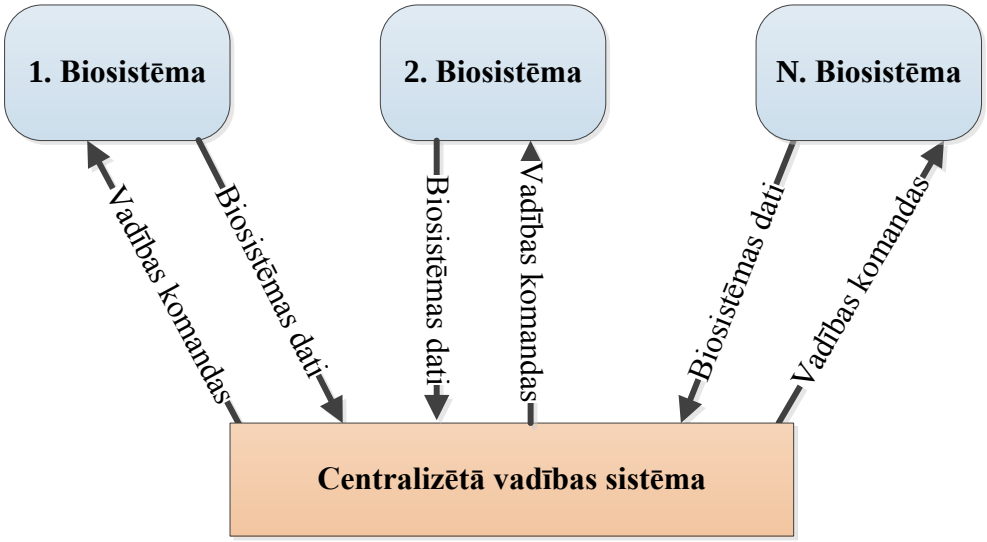
- bioloģiskajam sistēmām ir liels savstarpēji atkarīgu parametru un mainīgo skaits;
- plānotais eksperiments ir uzmanīgi jāīsteno praksē, jo tas var izraisīt bioloģiskās sistēmas bojāeju;
- praktiskie eksperimenti dabā ir laikietilpīgi – datu ieguve var turpināties gadiem ilgi, atkarībā no sistēmas attīstības ātruma;
- pašā bioloģiskajā sistēmā atrodas vairāki vadības kontūri un vadības mehānismi, kas kopā veido bioloģisko vadības sistēmu.

Ir zināms, ka biosistēmām piemīt pašregulācijas īpašības, kas nozīmē, ka tās var pārkārtoties atkarībā no ārējiem faktoriem tā, lai saglabātu savu optimālo funkcionēšanas līmeni un pielāgotos mainīgajiem ārējās vides parametriem (Rubin et al., 1987).

Viena no galvenajām bioloģiskā procesa īpatnībām ir tā, ka process parasti notiek bez cilvēka tiešas līdzdalības un iejaukšanās. Proti, cilvēkam tikai vajadzīgajā brīdī jāiedarbojas uz objektu, piemēram, jāaplaista puķes vai jānogriež slimas auga lapas.

Izmantojot informācijas tehnoloģijas, bioloģisko objektu vadības procesu ir iespējams padarīt precīzāku izvēloties konkrētu vadāmo elementu un veicamos uzdevumus, kā arī interaktīvāku.

Analizējot globālo gadījumu, kad ir vairākas biosistēmas, kuras ir ģeogrāfiski izplatītas un kuras ir nepieciešams vadīt, racionālāk ir izmantot vienu centralizētu vadības sistēmu (no angļu val. *centralized control system (CCS)*), jo tādā gadījumā procesa dati ir analizēti vienā vietā un lēmumu var pieņemt balstoties uz visiem datiem. Tādējādi ir iespējams izvērtēt, vai vadāmo sistēmu novirzēm cēlonis meklējams lokāli kādā sistēmā vai arī notiekošās izmaiņas nav atkarīgas no atrašanās vietas. Centralizētas vadības sistēmas (CVS) uzdevums ir analizēt katras biosistēmas datus (mērījumus) ar mērķi ieteikt un/vai izpildīt vadības iedarbi (skat. 2.4. att.):



2.4. att. **CVS realizācijas shematisks attēlojums.**
Avots: Autora veidots attēls.

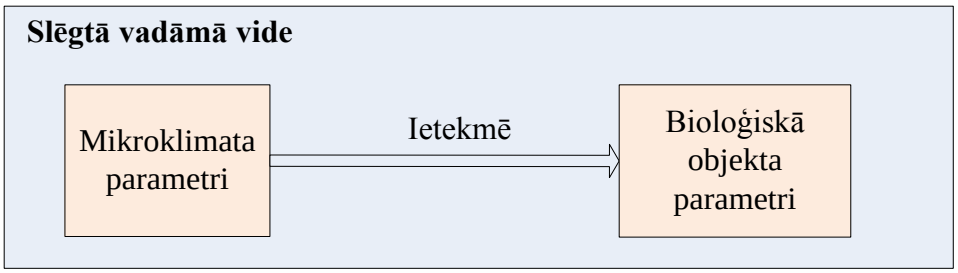
Piemēri, kur tāda pieeja var būt realizēta, ir šādi:

- meža masīvu uzraudzība ar mērķi noteikt potenciālo ugunsgrēka gadījumu;
- lauksaimniecības lauku uzraudzība ar mērķi iegūt lielāku ražu;
- siltumnīcu vadība ar mērķi iegūt lielāku ražu;
- bišu ziemotavas vadība ar mērķi optimizēt bišu ziemošanas procesu.

Kā redzams minētajos piemēros, šāda pieeja var būt realizēta vairākos gadījumos, kurus pēc biosistēmas atrašanās vietas var iedalīt divās grupās:

- biosistēma atrodas atklātā vidē un ir pakļauta mainīgajiem ārējās vides apstākļiem (temperatūra, nokrišņi, mitrums utt.);
- biosistēma atrodas slēgtā kontrolējamā vidē (telpā), kur tā nav pakļauta mainīgajiem ārējās vides apstākļiem, un telpā ir nodrošināts labvēlīgais mikroklimats.

Promocijas darba ietvaros paveiktais praktiskais darbs attiecas uz otro grupu, kur bioloģiskā sistēma atrodas slēgtā telpā un pastāv iespēja vadīt mikroklimatu. Šajā gadījumā iedarbe uz bioloģiskiem objektiem notiek, izmantojot slēgtās telpas mikroklimata izmaiņas (skat. 2.5. att.):



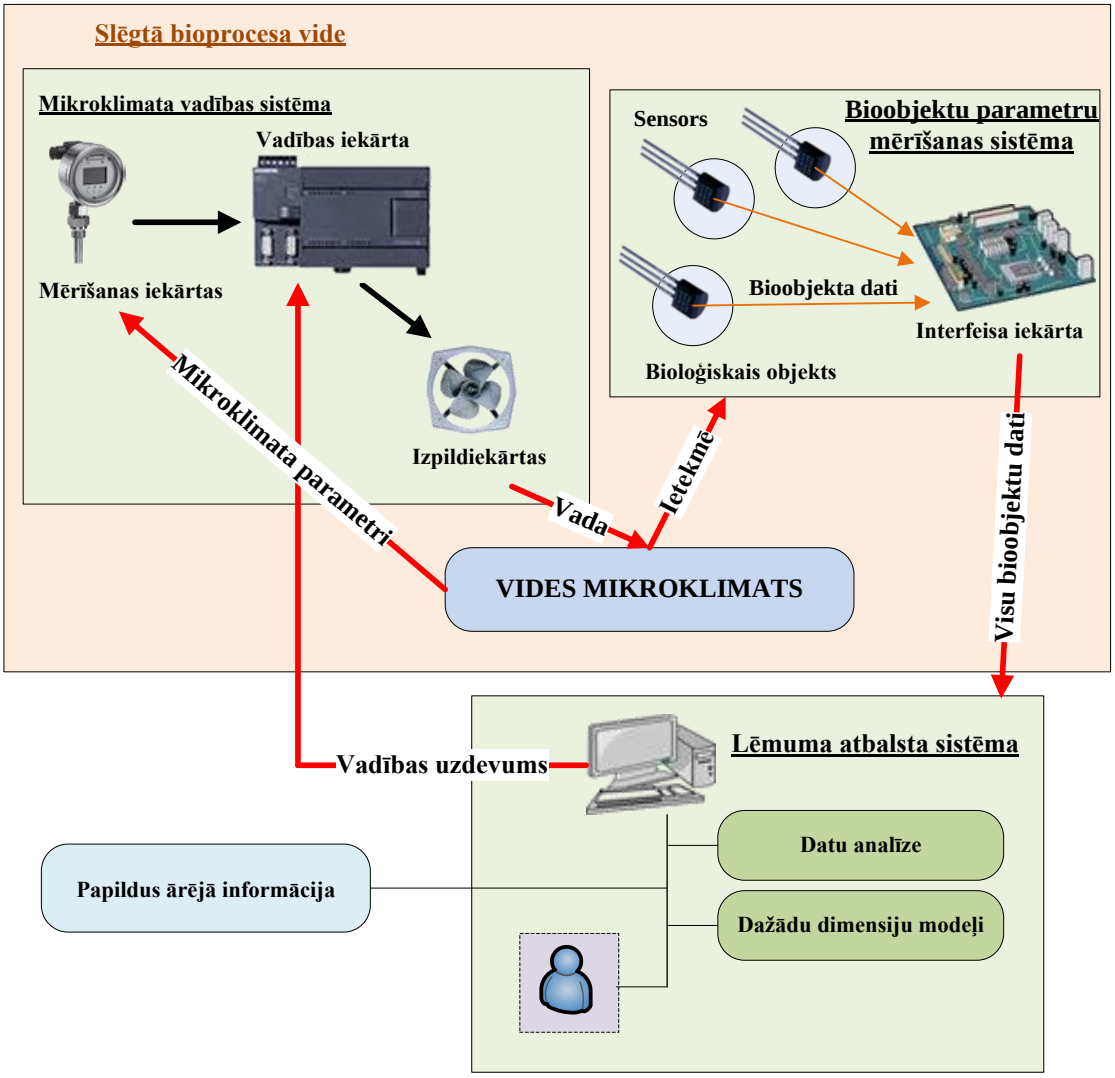
2.5. att. **Mikroklimata parametru saistība ar bioobjekta iekšējiem parametriem.**
Avots: Autora pielāgots attēls no (Zacepins, 2011).

Ar terminu *mikroklimats* autors saprot fizikālo faktoru kopumu, kas ietekmē organisma parametrus un uzvedību ierobežotā vidē. Mikroklimata galvenie rādītāji telpā ir gaisa temperatūra, gaisa relatīvais mitrums, gaisa plūsmas ātrums u.c., bet katrā

pētījumā var būt viens vai vairāki parametri, kuriem ir vislielākā ietekmē uz pētāmā objekta stāvokli un uzvedību.

Objekta uzvedība, tā iekšējie bioloģiskie procesi un katra objekta individuālie parametri ir mērāmi un ir cieši saistīti, un atkarīgi no ārējās vides ietekmes.

Autora piedāvātā bioloģisko objektu vadības sistēmas arhitektūra ir atspoguļota 2.6. att. Piedāvātā vadības sistēmas arhitektūra attiecas uz bioloģiskajiem procesiem, kuri notiek slēgtā telpā un kur telpas mikroklimata parametri ietekmē bioloģiskā procesa norisi un visas biosistēmas funkcionēšanu un attīstību.



2.6. att. **Slēgtā telpā notiekoša bioloģiska procesa adaptīva, sadalīta vadības sistēmas arhitektūra.**

Avots: Autora pielāgots attēls no (Zacepins, Stalidzans, 2012).

Slēgtā vidē vai telpā notiekošais bioloģiskais process tiek automatizēti vadīts ar mikroklimata vadības sistēmas palīdzību, balstoties uz vadībai nepieciešamajiem mērījumiem. Mērāmo parametru piemēri var būt gaismas daudzums un intensitāte, mitrums, temperatūra, gāzu sastāvs utt. Tajā pašā laikā svarīgākie bioloģiskā objekta parametri tiek mērīti ar specializētas mērsistēmas palīdzību. Mērījumu rezultāti tiek tālāk pārsūtīti skaitļošanas sistēmai, kura veic to apkopošanu un analīzi. Balstoties uz iepriekš definētiem modeļiem, skaitļošanas sistēma atpazina uzraudzītā objekta stāvokli. Ņemot vērā citus ārējo datu informācijas avotus (piem., laika prognozi), skaitļošanas

sistēma pati vai, piesaistot operatoru (cilvēku), pieņem lēmumu par nepieciešamību mainīt vadības sistēmas parametrus ar mērķi ietekmēt bioloģiskus objektus un mainīt to stāvokli un/vai uzvedību.

Viens no primārajiem lauksaimnieka uzdevumiem ir iegūt lielāku peļņu, nodrošinot labāku ražu vai augu/dzīvnieku attīstības stadiju vajadzīgajā brīdī. Lai to panāktu, ar vadības sistēmas palīdzību ir nepieciešams nodrošināt bioloģiskajam objektam labvēlīgus eksistences apstākļus visos attīstības posmos. Autora piedāvātā sistēmas arhitektūra ir izmantojama gadījumos, kad bioloģiskie objekti var tikt novēroti individuāli, lietojot dažāda veida sensorus un mēriekārtas. Kā arī pats bioloģiskais process notiek noslēgtā telpā un nav pakļauts nevadāmai vides ietekmei. Iespējamie piemēri, kur, pielietot piedāvāto sistēmas arhitektūru, ir šādi: lopkopības dzīvnieku vadība kūtī, puķu augšanas procesa vadība siltumnīcā, bišu saimes ziemošanas procesa vadība ziemotavā utt.

Autora piedāvātā biosistēmas vadības sistēmas arhitektūra ir dalāma vairākos atsevišķos sistēmas elementos, kur katrs no tiem var būt izstrādāts neatkarīgi.

2.1. Mikroklimata vadības sistēma

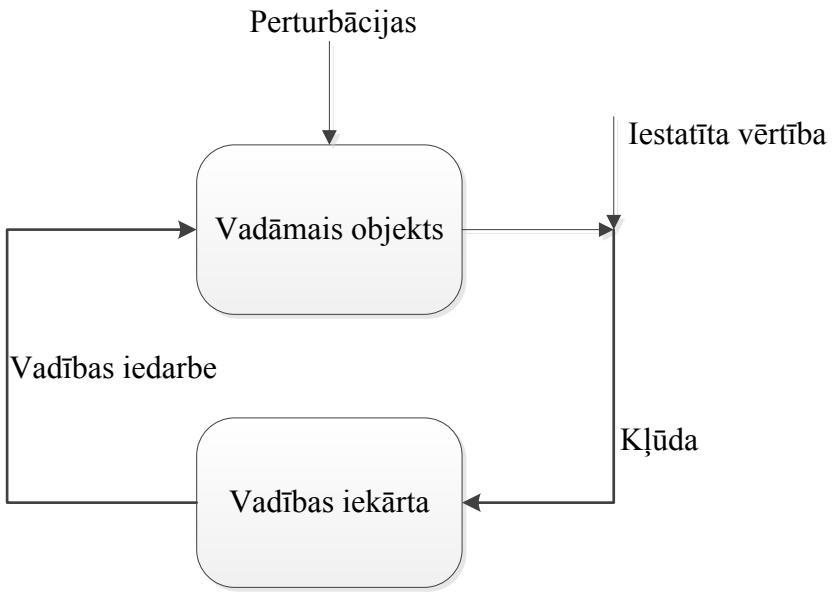
Mikroklimata vadības sistēmas galvenais uzdevums ir automātiski nodrošināt stabilu mikroklimata parametru vai parametru kopu slēgtā telpā un uzraudzīt tās izmaiņas, neļaujot tiem iziet ārpus kritiskām robežām.

Par automātiskās vadības sistēmu sauc sistēmu, kas bez tiešas cilvēka līdzdalības veic dažādu tehnisku procesu vadību (Klimavičius, 2002).

Automātisko vadības sistēmu galvenās sastāvdaļas ir vadāmais objekts un vadības iekārta (Klimavičius, 2002).

Automātisko vadību realizē ar automātiskās vadības iekārtu, kas vada izpildiekārtu, kura, iedarbojoties uz vadības objektu, nodrošina tajā nepieciešamo darba režīmu un fizikālos parametrus (Šnīders, 2008).

Shematiski automātisku vadības sistēmu var attēlot šādi (skat. 2.7. att.):



2.7. att. **Automātiskās vadības sistēmas koncepcija.**
Avots: Aurora pielāgots attēls no (Cipkin, 1977).

Par vadības objektu sauc tehnoloģisku iekārtu (siltumnīca, apsildes katls, koģenerācijas iekārta u.c.), kuras darba režīms un parametri tiek uzturēti ar speciāli organizētām, regulējošām iedarbēm. Ar vadāmo objektu šajā gadījumā saprot jebkuru dinamisku sistēmu, kuras stāvokli raksturojošie lielumi ārējo iedarbju rezultātā mainās (Klimavičius, 2002). Vadāmā objekta stāvokli raksturo virkne mainīgo. Daļu no tiem sauc par izejas mainīgajiem vai stāvokļa mainīgajiem, un tie raksturo vadāmā procesa kvalitāti. Ārējas iedarbības rezultātā (mainās slodze, darba režīms, apkārtējās vides temperatūras un mitruma svārstības, barošanas spriegums u.c.) mainās vadāmā objekta stāvoklis, tāpēc izejas mainīgie novirzās no uzdotajām vērtībām (Šnīders, 2008; Klimavičius, 2002).

Kopumā telpas mikroklimata parametru ir daudz:

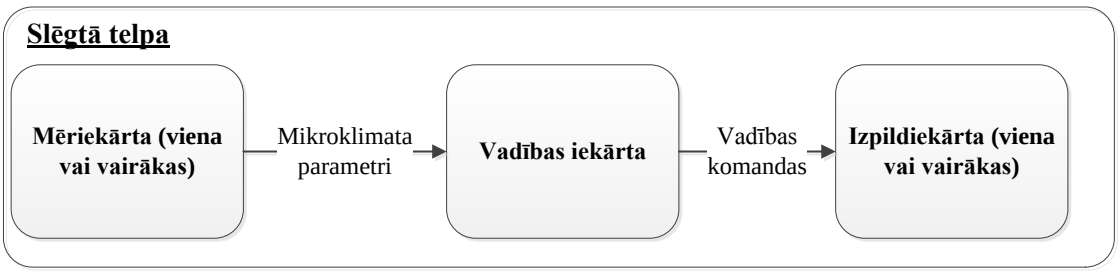
- temperatūra;
- mitrums;
- gaisa bioloģiskais un/vai ķīmiskais sastāvs;
- gaismas daudzums un intensitāte;
- elektromagnētisko viļņu piesārņojums;
- elektrostatiskais lauks;
- putekļu daudzums un citi.

Bet, risinot konkrēto uzdevumu un vadot konkrēto objektu, parasti uzrauga tikai dažus galvenos parametrus, kuriem ir vislielākā ietekme uz vadāmā objekta uzvedību.

Klasiskajā izpildījumā visas automatizētās vadības sistēmas, tajā skaitā arī mikroklimata vadības sistēmas, sastāv no trim pamat elementiem:

- *vadības iekārtas* – sistēmas „smadzenes", kura, balstoties uz ieejas datiem, vada pārējās izpildiekārtas, tādējādi nodrošinot telpas mikroklimata vadību. Par mikroklimata vadības sistēmas vadības iekārtu var kalpot mikrokontrollers, programmējamais loģiskais kontrollers, iegultā iekārta, personālais vai industriālais dators;
- *mēriekārtas vai sensori* – iekārta, kura nolasa faktiskās mikroklimata parametru vērtības un to izmaiņas;
- *izpildiekārtas* – tehniskie līdzekļi, ar kuriem tiek panākta mikroklimata parametru izmaiņas. Izpildiekārtas ir atkarīgas no tā, kādi mikroklimata parametri ir vadīti. Piemēram, temperatūras gadījumā, ir jāizmanto gaisa sildītājs, gaisa dzesētājs, ventilatori.

Shematiski mikroklimata vadības sistēmas struktūru var atspoguļot šādi (skat. 2.8. att.):

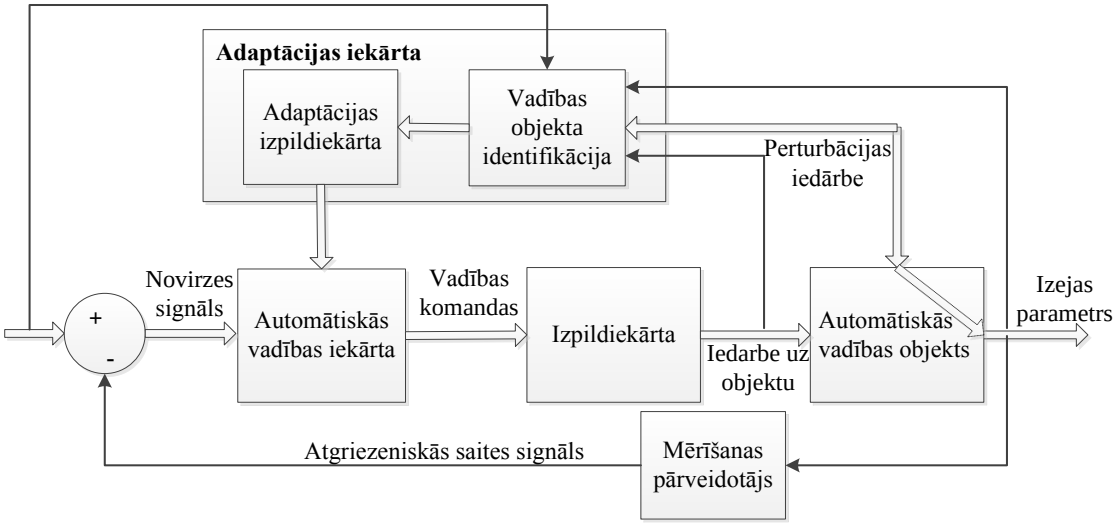


2.8. att. **Mikroklimata vadības sistēmas struktūra.**
Avots: Autora veidots attēls.

Veidojot automātiskās vadības sistēmas, pārsvarā izmanto divus vadības principus - vadības princips pēc izraisošās iedarbes (kompensācijas princips) un atgriezeniskās saites princips (vadība pēc novirzes) (Klimavičius, 2002).

Automātiskās vadības princips nosaka, kā un uz kādu informāciju balstoties tiek formēta regulējošā iedarbe uz vadāmo objektu. Par galvenajiem automātiskās vadības principiem tiek uzskatīti šie (Šnīders, 2008):

- programmvadības princips - tāds automātiskās vadības princips, kad vadības iedarbe uz tehnoloģisko objektu tiek formēta kā laika funkcija pēc iepriekš uzdotas un noteiktas programmas;
- perturbāciju kompensācijas princips - vadības iedarbe uz objektu notiek, balstoties uz perturbāciju mērīšanas rezultātiem;
- novirzes jeb atgriezeniskās saites princips - vadības iedarbe uz objektu, notiek pamatojoties uz informāciju par regulējamā lieluma novirzi no uzdotās vērtības;
- kombinētas - invariantās vadības princips apvieno sevī divus vadības principus pēc novirzes un perturbāciju kompensācijas;
- adaptācijas jeb pielāgošanas vadības princips (skat. 2.9. att.) nosaka, ka vadības objekta parametri nav iepriekš uzdoti. Darba gaitā tie var mainīties pēc jebkura iepriekš nezināma likuma. Tāpēc nepieciešams nepārtraukti uzraudzīt izmaiņas vadības objekta ieejā un izejā, lai izstrādātu optimālu vadības stratēģiju, mainoties objekta darba režīmiem un parametriem. Adaptīva vadības sistēmu veido divas daļas: galvenā vadības kontūra ar negatīvu atgriezenisko saiti un pašnoskaņošanās iekārtas adaptācijas principa realizācijai. Atkarībā no situācijas adaptācijas iekārta var mainīt vadības iekārtas parametrus, parametrus un struktūru vai parametrus, struktūru un pat vadības algoritmu (Šnīders, 2008).



2.9. att. **Adaptīvas automātiskās vadības sistēmas funkcionālā shēma.**
Avots: Aurora pielāgots attēls no (Šnīders, 2008).

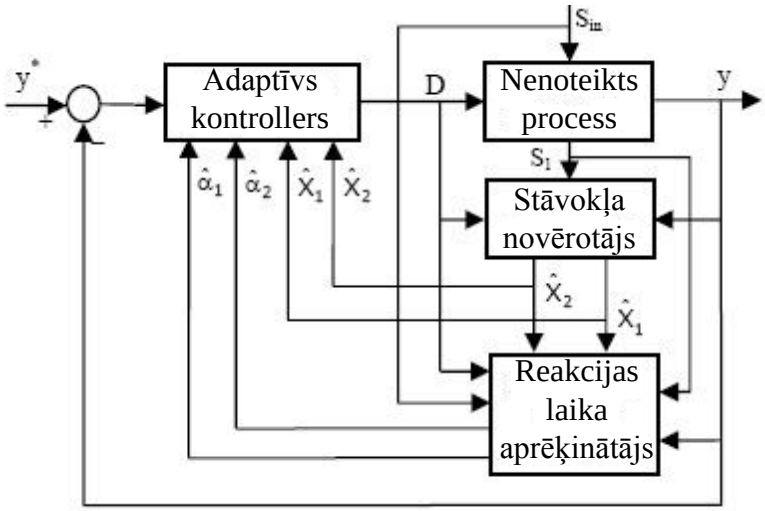
Galvenā adaptācijas principa priekšrocība ir pielāgošanās spēja iepriekš nezināmām izmaiņām nestacionārā vadības objektā, kas dod iespēju nodrošināt augstu sistēmas darbības kvalitāti mainīgos darba vides apstākļos. Tieši tāpēc šīs vadības princips tiek ņemts par pamatu promocijas darba praktiskās daļas realizācijā.

Adaptācijas princips ir plaši izmantots, risinot bioloģiskā procesa vadības uzdevumus, jo pat tad, kad informācija par procesa svarīgiem parametriem ir zināma, bioloģiskā procesa uzraudzība un vadība kļūst par lielu izaicinājumu, jo šis process pēc

uzvedības ir nelineārs un parasti nav pietiekamas zināšanas par tā kinētiskajiem parametriem. Tieši šādos vadības gadījumos vis piemērotākā ir adaptīvas kontroles stratēģijas pieeja (Petre, Selisteanu, 2007; Petre, Selisteanu, 2008; Bastin, Dochain, 1990; Perrier, Dochain, 1993).

Dažas pieejas tika izstrādātas un piedāvātas, lai pārvarētu minētās bioloģiskā procesa vadības problēmas. Var minēt *Kalmana* filtrus (no angļu val. *Kalman filters*), *Luenbergera* novērotājus (no angļu val. *Luenberger observers*), novērotājus ar lielu atdevi (no angļu val. *high-gain observers*) un adaptīvus novērotājus (no angļu val. *adaptive observers*) (Gauthier, Kupka, 1994). Citas pieejas piedāvā lietot tā saucamos programmatūras sensorus (no angļu val. *software sensors*) (Bastin, Dochain, 1990; Dochain, Vanrolleghem, 2001).

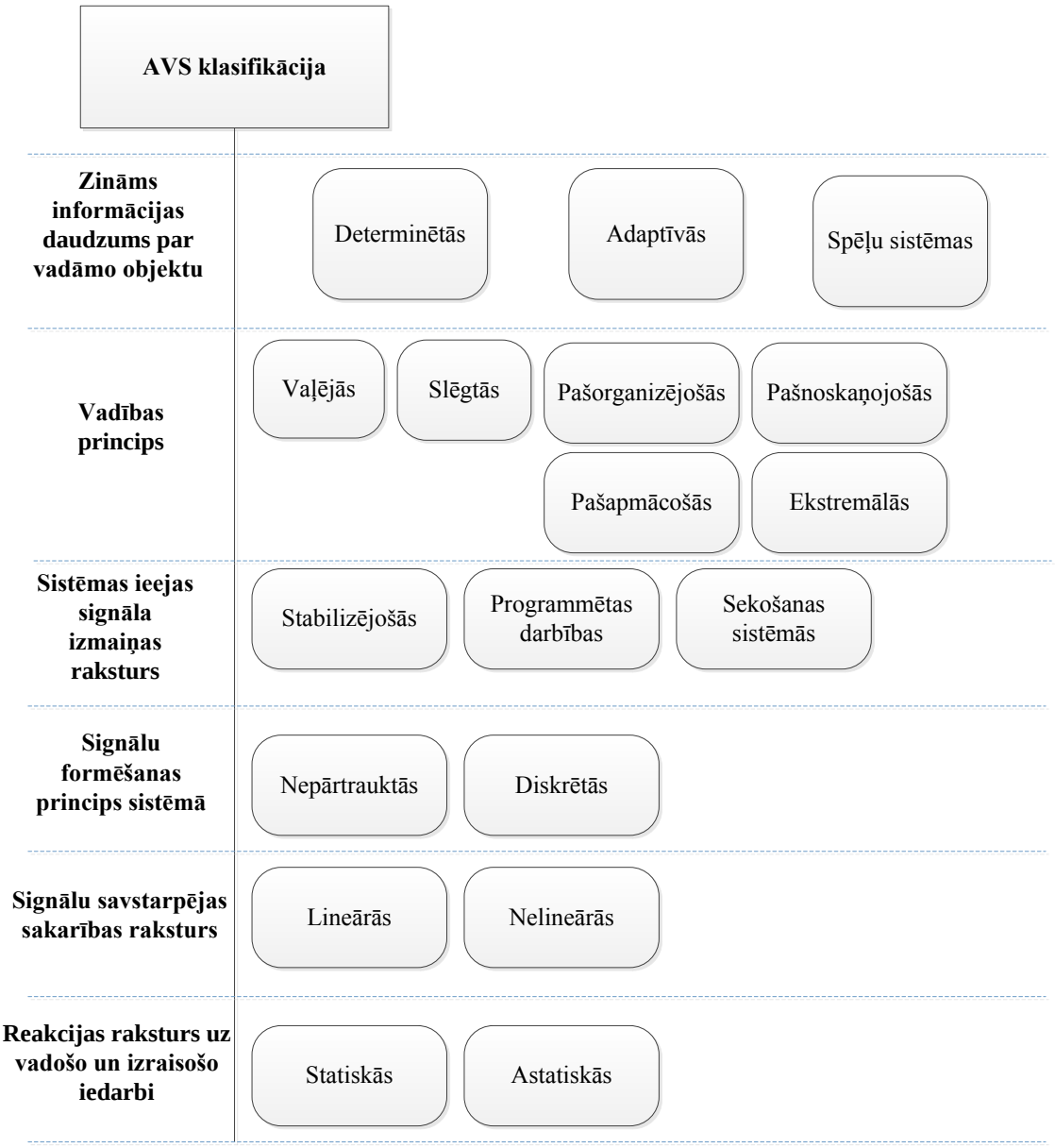
E. Petre no Craiovas Universitātes veica pētījumu par adaptīvas kontroles stratēģijas izveidi anaerobam bioprocesam saistībā ar notekūdeņu attīrīšanu (skat. 2.10. att.). Viņa izveidotā adaptīvās kontroles struktūra ir balstīta uz procesa nelineārā modeļa un ir sasniegta, kombinējot lineāro kontroles likumu ar jaunā stāvokļa novērotāju un parametra novērotāju, kurš pilda programmatūras sensora lomu (Petre, Selisteanu, 2008).



2.10. att. ***E. Petre* izveidotā adaptīvas sistēmas struktūra bloku diagrammas veidā.** Avots: (Petre, Selisteanu, 2008).

Pētījuma rezultātā ir secināts, ka adaptīvas sistēmas uzvedība, izmantojot pat mazāk sākuma informācijas, ir laba un tā ir tuva slēgtas sistēmas uzvedībai, kad procesa modelis ir zināms. Un vairākās praktiskās situācijās, kad procesa dinamika nav pilnīgi zināma un ir laikā mainīga adaptīvās pieejas lietošana, ir dzīvotspējīgs risinājums (Petre, Selisteanu, 2008).

Pašlaik izmantojamās automātiskās vadības sistēmas ir ļoti daudzveidīgas, tāpēc ir sarežģīti sniegt vienotu sistēmu klasifikāciju pēc kādām noteiktām pazīmēm, ērtāk ir izmantot vairākas pazīmes, lai izdalītu automātiskās vadības sistēmu grupas (Šnīders, 2008; Klimavičius, 2002). 2.11. att. ir demonstrēta vadības sistēmu klasifikācija pēc vairākām pazīmēm. Šeit minētā automātisko sistēmu klasifikācija nav galīga un visaptveroša. Intensīvas automātiskās vadības teorijas attīstības rezultātā var parādīties jauni automātisko sistēmu tipi, kas neiekļaujas šajā klasifikācijā.



2.11. att. **AVS klasifikācija pēc vairākām pazīmēm.**
Avots: Autora veidots attēls pēc (Šnīders, 2008; Klimavičius, 2002).

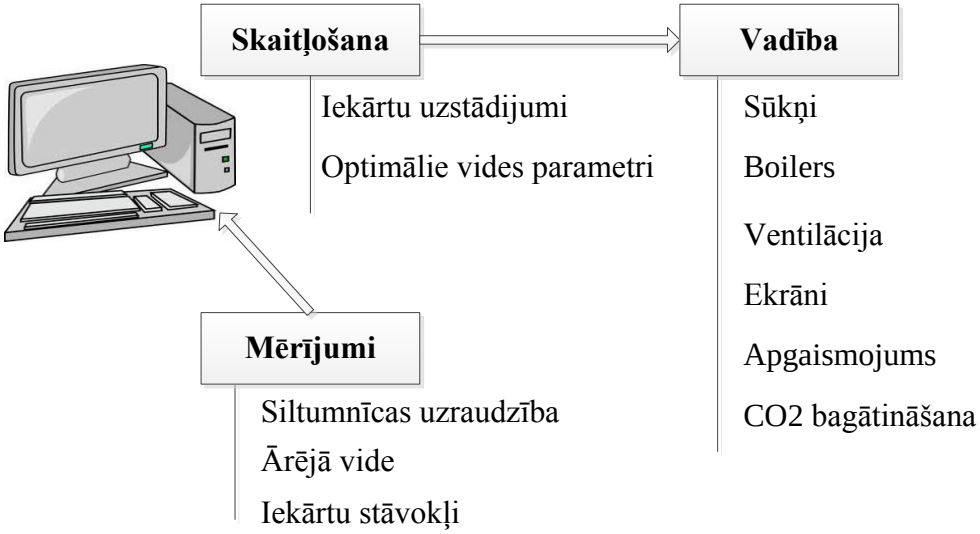
Automātiskās vadības sistēmas ir plaši izmantojamas apkārtējās vides vadībā un uzraudzībā, jo tas ir centrālais punkts modernās bioloģiskās ražošanas sistēmās. Savukārt šādu dzīvo sistēmu ārējo parametru vadība būtiski atšķiras no pielīdzināmās fiziskās sistēmas vadības, un prasības tipiski ir daudz sarežģītākas un nelineāras, kā arī bioloģiskām sistēmām ir liela ietekme uz to fizisko apkārtni (Pasgianos et al., 2003).

Promocijas darba autors savā pētījumā izmanto automātisko vadības sistēmu ar mērķi vadīt mikroklimata parametrus bišu ziemotavā, kas ir no apkārtējās vides noslēgta un ierobežota telpa. Pētījumi šajā paša virzienā ir plaši veikti, uzraugot un vadot mikroklimata parametrus citās līdzīgās telpās, piemēram, siltumnīcās un lopu (dzīvnieku) novietnēs.

Ir veikti daudzi pētījumi un praktiskie eksperimenti par siltumnīcas klimata vadību (P. Jones et al., 1984; Gates, 1991; Stanghellini, 1992; Young, Lees, 1993; Y Zhang, Barber, 1993; Young et al., 2000; Stanghellini, De Jong, 1995; Chao, Gates,

2000; Chao, Gates, 1995; Chao, Gates, 1996; Lees et al., 1996; Arvanitis, Paraskevopoulos, 2000; Taylor, Chotai, 2000; Zolnier et al., 2000).

Siltumnīcas uzraudzības un vadības uzdevumu var sadalīt trijās daļās: mērījumi, skaitļošana un regulēšana (skat. 2.12. att.) (Timmerman, Kamp, 2003):



2.12. att. **Siltumnīcas mikroklimata vadīšanas uzdevuma sadalījums.**
Avots: Autora pielāgots attēls no (Timmerman, Kamp, 2003).

Lielākā pētījumu daļa par siltumnīcas vides parametru vadību un analīzi balstīta uz enerģijas un masas balansu, un fiziskās modelēšanas koncepcijām. Šie koncepti ir diezgan efektīvi un ļauj noskaidrot apkārtējās vides vadības koncepciju, precizē vadības stratēģijas un pakāpeniski ir iespējams iegūt ekonomisko optimizāciju, kas ir viens no galīgajiem mērķiem, realizējot apkārtējās vides vadību (Pasgianos et al., 2003).

Literatūrā var atrast daudz dinamisku un nelineāru modeļu, kuri atklāj siltumnīcas vidi. Pārsvarā par centrālo mainīgo tiek uzskatīta gaisa temperatūra ar relatīvo mitrumu, kā arī ogļskābās gāzes koncentrācija gaisā. Fakts, ka temperatūra un mitrums mainās pēc nelineāriem termodinamikas likumiem, un piedziņas elementi ietekmē parametru izmaiņas, neļauj izveidot universālu spēcīgu vadības shēmu (Pasgianos et al., 2003).

Pastāv situācijas, kad tiek automātiski vadītas siltumnīcas ar retām, aizsargājamām kultūrām, tad vēl uzmanīgāk ir jāintegrē bioloģiskās sistēmas īpatnības fiziskajā sistēmā. Siltumnīcas augi nosaka savas vajadzības būtiski nelineārā veidā ietekmē apkārtējās vides parametrus. Turklāt termiskā siltumnīcas dinamika nosaka, ka visām traucējošām iedarbēm (saules siltums, mitrums) ir lielāks efekts uz sistēmas parametriem nekā citās ēkās (Pasgianos et al., 2003).

G. D. Pasgianos no Grieķijas savā pētījumā demonstrē jaunu pieeju siltumnīcas klimata vadībai, kontrolējot ventilācijas, dzesēšanas un mitrināšanas procesus. Viņš piedāvā līdzekļus, lai kombinētu bioloģiskus un fiziskus modeļus ar mērķi vienlaicīgi kontrolēt gaisa temperatūru un mitrumu siltumnīcās. Lai demonstrētu izstrādātās vadības sistēmas efektivitāti un labu veiktspēju, viņš veica vairākas simulācijas, pielietojot *Matlab* programmatūru (Pasgianos et al., 2003).

Vēl viens lauksaimniecības virziens, kur plaši tiek lietotas automātiskās vadības sistēmas, ir dzīvnieku novietnes vai kūts uzraudzības sistēmas. Svarīgu mikroklimata parametru uzraudzība dzīvnieku mājās var palīdzēt saglabāt labu dzīvnieku veselību.

D. Berckmans laboratorijas apstākļos testēja mehānisko kūts ventilācijas sistēmu ar mērķi uzlabot šīs sistēmas veiktspēju. Pētījuma rezultātā tika izveidots kontrollers, ar kura palīdzību tika sasniegta uzlabota gaisa plūsmu vadība, tādējādi nodrošinot efektīvāku vides vadību lopu kūtīs (Berckmans, Goedseels, 1986).

A. G. Soldatos uzsver, ka lopu kūtīs turēto dzīvnieku fiziskā vide primāri tiek raksturota ar ēkas hidro-siltuma parametriem un gaisa kvalitāti. Šos parametrus, no vienas puses, ietekmē mijiedarbība ar ārējo vidi, bet, no otras puses pašas kūts un tās ventilācijas sistēmas kvalitāte. Lauksaimniecības dzīvnieku novietnēs ir nepieciešams nodrošināt labvēlīgus, veselībai nekaitīgus vides apstākļus, kas galvenokārt sekmēs dzīvnieku produktivitāti. Lai sasniegtu pēc iespējas labākus vides parametrus, ir nepieciešams lietot modernas vadības sistēmas un efektīvas vadības tehnikas. Savā pētījumā *A. G. Soldatos* piedāvā jaunu vadības tehniku, kura balstās uz vadības principa pēc stipras atgriezeniskās saites. Izstrādātā vadības tehnika ir pārbaudīta ar simulācijām, vadot cūku novietnes vides parametrus (Soldatos et al., 2005).

P. I. Daskalov pievērš uzmanību tam, ka klimata vadība dzīvnieku novietnēs ir sarežģīts, bet nepieciešams uzdevums. Dzīvnieki nelineārā veidā ietekmē ēkas iekšējo temperatūru un mitrumu un pievieno ilglaicīgas konstantes sistēmas atbildes reakcijai. Lai risinātu šīs problēmas, ir izstrādāta nelineāra vadības metode temperatūras un mitruma vienlaicīga kontrole, vasarā un ziemā. Piedāvātā metode ir veiksmīgi testēta ar plašām un daudzpusīgām simulācijām. Metodes spēja izsekot dažādām iestatītajām vērtībām nodrošina iespēju kombinēt to ar augstāka līmeņa vadības moduļiem. Tas nodrošina lietotāju definētus temperatūras un mitruma transformācijas uzstādījumus uz iespējamām kontrollera iestādītajām vērtībām ņemot vēra izpildmehānismu, dzīvnieku labturības un citus ierobežojumus. Piedāvātā metode varētu būt lietota jebkurās gaisa kondicionēšanās sistēmās un klimata kontroles sistēmās (Daskalov et al., 2006).

Parasti mikroklimata vadības sistēmām ir jādarbojas nepārtraukti, ilgu laika periodu. Šajā sistēmas darbības periodā pastāv risks, ka tehniskajai vadības sistēmai radīsies kādas kļūdas vai tehniskās problēmas, vai sistēma var pat pilnīgi apstāties. Tādēļ ir nepieciešams izstrādāt arī līdzekļus šāda veida problēmu ātrai noveršanai. Mūsdienās ir izplatīti mehānismi, kuri var nosūtīt e-pastu vai sms paziņojumu par sistēmas darbības traucējumiem vai otrā iespēja ir lietot tīmekļa saskarni, kur reālajā laikā ir iespējams aplūkot sistēmas parametrus un darbības režīmu.

- **Mikroklimata vadības sistēmas realizācija ar PLK**

Viens no svarīgākajiem automātiskās vadības sistēmas elementiem ir vadības iekārta. Viena no mūsdienās izplatītākajām iekārtām ir programmējamais loģiskais kontrollers jeb PLK (no angļu val. *Programmable Logical Controller* (*PLC*)). PLK, kuros ir ieprogrammēta procesa automatizācijas programma, ir centrālie procesu automatizācijas realizētāji. Arī promocijas darba ietvaros izstrādātā automatizētā vadības sistēma balstās uz PLK vadību.

Darba laikā ir izvēlēts izmantot tieši šo vadības iekārtu, jo ar PLK ir iespējams realizēt visas vadības sistēmas prasības. Pirmkārt, PLK spēj strādāt vidē, kurā ir realizēts praktiskais eksperimentālais darbs, proti, bišu ziemotavā, kur ir uzturēta zema temperatūra ap +4° C un ir augsts relatīvais mitrums (līdz 85%). Otrkārt, ar PLK papildus moduļiem ir iespējams realizēt attālinātu uzraudzību un vadību. Treškārt, PLK ir pietiekami ātrs, veicot pārējo izpildiekārtu vadību. Ceturtkārt, PLK vadības programmu ir iespējams attālināti labot un modernizēt. Pieckārt, pie PLK var pieslēgt lielu skaitu izpildiekārtu, jo viens papildus ieejas/izejas modulis ļauj pieslēgt līdz 8 izpildiekārtām. Vēl par būtisku momentu var uzskatīt to, ka fakultātē ir pieejama

materiālā bāze tieši ar šīm iekārtām, un promocijas darba autors ir izstrādājis studijas kursu ar nosaukumu „*Loģisko kontrolleru sistēmas*", un pats ir apguvis šo vadības iekārtu programmēšanu.

Ar PLK palīdzību var kontrolēt vienu vai vairākus nepieciešamos procesa parametrus. Apvienojot vairākas, specializētas iekārtas, ir iespējams uzbūvēt autonomu ražošanas vadības sistēmu, kura var darboties automātiski paaugstināta riska situācijās, realizējot riska novēršanu vai piesaistot operatoru situācijas atrisināšanai. Ar tādas sistēmas palīdzību var panākt efektīvāku ražošanas procesa vai bioprocesa vadību un kontroli.

Programmējamie loģiskie kontrolleri ir vienkārši apkalpojami, ērti izmantojami dažādu iekārtu un procesu automatizācijā, to ekspluatācija ir piemērota visdažādākajiem ražošanas apstākļiem, kā arī, to ražošanas tehnoloģijām attīstoties, kļūst arvien lētāka.

PLK ir uz mikroprocesora bāzes veidota vadības ierīce, kas aizstāj automātiskās vadības shēmas, kuras agrāk tika būvētas, izmantojot relejus. Termins PLK ir izmantots arī, lai apzīmētu vadības iekārtu, kas, saskaņā ar uzdoto programmu, atkarībā no ieejas informācijas, vada procesu vai mašīnu (Galiņš, Leščevics, 2008).

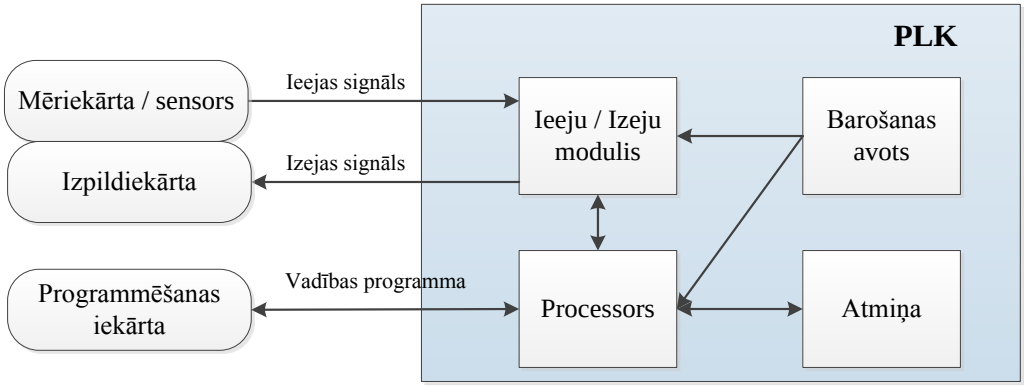
PLK ir moderna vadības ierīce, kuras lietojums pašlaik attīstās un paplašinās. Visās nozarēs, kurās lieto automātiskās vadības sistēmas, agrāk izmantoja atsevišķus laika relejus, starprelejus un mehāniskos kontrollerus, pašreizējā mikroelektronikas, informācijas tehnoloģiju un telekomunikāciju attīstība dod iespēju tos mainīt ar vienu ierīci, kas izpilda visas nepieciešamās vadības funkcijas (Galiņš, Leščevics, 2008).

Mūsdienās PLK var būt izmantotas gandrīz visās nozarēs, tai skaitā arī lauksaimniecībā, enerģētikā, produktu pārstrādē, pārtikas ražošanā, metālapstrādē, kokapstrādē, autobūvē, apkures un ventilācijas sistēmās un pat „gudro māju" vadībā. Ar PLK palīdzību var ļoti precīzi ieslēgt dozēšanas iekārtas, konveijera lentas, iepakojuma mašīnas, mikroklimata iekārtas utt.

Kā jau visām specifiskajām iekārtām, arī PLK ir savas darbības īpatnības. Ieejas datiem ir jābūt binārajā formā, strāva ir vai strāva nav, slēdzis - ieslēgts vai izslēgts - loģiskais 1 vai 0. Dati tiek apstrādāti saskaņā ar loģiskajām funkcijām (piem., *AND*, *OR*, *NOT*). Ieeju loģisko kombināciju, kas aktivizē izejas signālu, sauc par vadības loģiku. Vairākas loģiskās kombinācijas nosaka iekārtas darbību. Šo loģisko kombināciju saturs glabājas PLK atmiņā, kur tas tiek ievadīts, izmantojot programmatoru - speciālu iekārtu vai datoru programmēšanai (Galiņš, Leščevics, 2008).

Programmējamie loģiskie kontrolleri, neatkarīgi no izmēra, uzbūves komplicētības, izmaksām un programmēšanas iespējām, sastāv no vieniem un tiem pašiem pamata komponentiem, un tiem visiem ir vienādas funkcionālās īpašības. PLK vienmēr sastāv no procesora, atmiņas bloka, no ieeju un izeju blokiem un barošanas bloka (skat. 2.13. att.).

PLK var programmēt, un atkārtoti pārprogrammēt, izmantojot datoru vai speciālas programmēšanas iekārtas - pultis. Tas nozīmē, ka jebkuru PLK var programmēt ražošanas vietās, vajadzīga tikai programmatūra. Praksē izmanto vairākas PLK programmēšanas valodas (Berger, 2009).



2.13. att. **Tipiskā PLK uzbūves shēma.**
Avots: Autora pielāgots attēls no (Galiņš, Leščevics, 2008).

2.2. Biosistēmas parametru mērīšanas sistēma

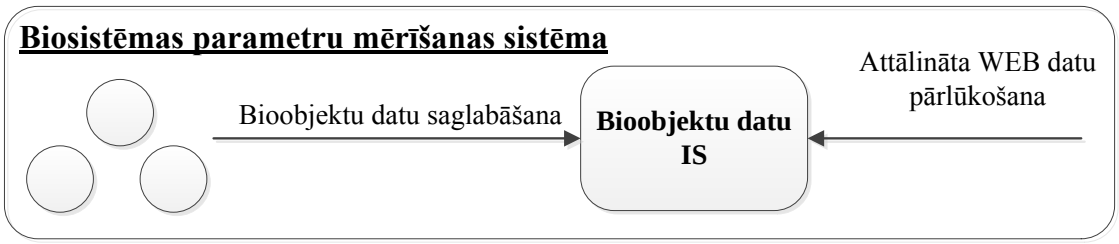
Mērīšanas iekārtas izvēle ir viens no svarīgākajiem etapiem, veicot bioloģiskā objekta parametru mērīšanas uzdevumu. Šobrīd arvien populārāki kļūst bezvadu risinājumi, objekta parametru mērīšanas uzdevuma izpildei (skat. 1.1.2. nodaļu), bet dažādu iemeslu dēļ ne vienmēr tos ir iespējams izmantot (piem., nepārtrauktas darbības ilgums) un ir jānovērtē arī citi mērīšanu ietekmējošie faktori, lai izvēlētos labāko un piemērotāko sensora veidu. Par alternatīvu kļūst mērīšanas sistēmas, kuras ir bāzētas uz vadu risinājumu.

Veidojot lielu vada tīklu, ir svarīgi jau projektēšanas posmā izveidot tīklu pareizi, citādi var rasties problēmas ar nolasījumu veikšanu vai datu zudumu. Nelielos tīklos ir iespējams veikt devēju savienojumus ar zvaigznes vai radiālo topoloģiju, pieslēdzot katru devēju ar savu atsevišķu kabeli koncentrējošā punktā un tikai tad pieslēdzot visus devējus komunikācijas iekārtai. Bet tomēr ir rekomendēts visus devējus slēgt citu aiz cita - vienotā ķēdē. Tas palīdz minimizēt iespējamos datu zaudējumus, nolasot informāciju.

Atkarībā no objekta un tā svarīgākajiem parametriem ir arī jāizvēlas konkrētā mēriekārta.

Objekta parametru mērījumu nolasīšanai un datu saglabāšanai ir nepieciešams izstrādāt arī informācijas sistēmu jeb datora programmu, ar kuras palīdzību ir izpildītas pieminētās darbības, lai turpmāk mērījumus var apstrādāt un analizēt.

Veicot bioobjekta uzraudzību, ir nepieciešama pastāvīga iespēja kontrolēt un uzraudzīt procesu. Viens no iespējamajiem risinājumiem ir izstrādāt tīmekļa saskarni objektu parametru mērījumiem. Tas ļaus jebkurā laika brīdī paskatīties aktuālos mērījumus un arī veikt citas vienkāršas operācijas ar vēstures datiem. Šajā gadījumā atbildīgo personu grupai ir jābūt pieejamam tikai Internetam un datoram. Biosistēmas parametru mērīšanas sistēmas struktūru var atspoguļot šādi (skat. 2.14. att.):

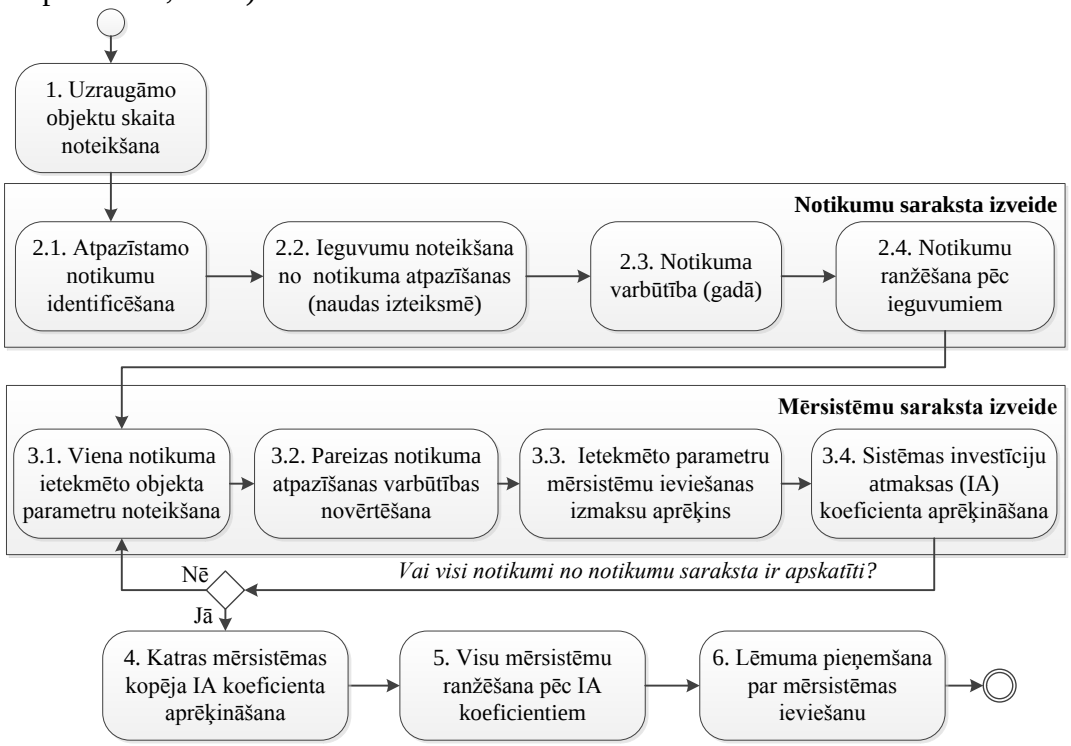


2.14. att. **Biosistēmas parametru mērīšanas sistēmas struktūra.**
Avots: Autora veidots attēls.

2.2.1. Precīzās lauksaimniecības sistēmu ieviešanas lietderības izvērtēšanas metodika

Ilgtspējīgai lauksaimniecībai ir jādarbojas ar peļņu. Līdz ar to dažādu precīzās lauksaimniecības pasākumu ieviešanai un arī mērsistēmas ieviešanai kā kritērijs ir izvirzāms investīciju atmaksāšanās ātrums. Precīzajā lauksaimniecībā ir nepieciešams veikt individuāli uzraugāmo objektu parametru mērīšanu ar mērķi atpazīt dažādus anomālus stāvokļus, kas neatbilst normālai objektu attīstībai vai svarīgus objekta attīstības stāvokļus. Pēc stāvokļu atpazīšanas ir jāveic darbības, kas vai nu novērš potenciālos zaudējumus, vai arī ļauj sasniegt labākus ražošanas rādītājus, salīdzinot ar tradicionālo lauksaimniecību. Līdz ar to rodas jautājums - kā noteikt PL pasākumu efektivitāti, ņemot vērā ekonomiskos rādītājus? Tas ļautu sākt PL ieviešanu ar efektīvākajiem jeb visātrāk peļņu nesošajiem pasākumiem. Samērā lielais iespēju skaits var izraisīt voluntārus un nepamatotus lēmumus par PL pasākumu ieviešanu. Tādēļ izveidots formāls algoritms, kas ir balstīts uz mērsistēmu kombinēta pielietojuma ieguvumu/izdevumu analīzi un kuram vajadzētu analizēt visas iespējas (Zacepins et al., 2013).

Objekta stāvokli var raksturot vairāki parametri, kurus ir nepieciešams uzraudzīt, tāpēc iespējama situācija, kad lauksaimniekam ir nepieciešams novērtēt, vai vispār ir ekonomiski izdevīgi uzraudzīt visus parametrus un vai mērīšanas sistēmas ieviešana sevi attaisno. Darba autors piedāvā metodi (algoritma blokshēmu skat. 2.15. att.), ar kura palīdzību var noteikt objekta mērīšanas sistēmas investīciju atmaksas (IA) koeficientu un tādējādi novērtēt ieguvumus un/vai zaudējumus pēc objekta dažādu stāvokļu atpazīšanas un parametru mērīšanas. Koeficienta mērvienība ir gadu skaits, un tas izsaka, pēc cik gadiem mērsistēmas ieviešanas investīcijas atmaksāsies. Piedāvātais algoritms nav specifisks konkrētai PL apakšnozarei, un līdz ar to var tikt plaši izmantots (Zacepins et al., 2013).



2.15. att. **Lauksaimniecības objektu mērsistēmas ieviešanas investīciju atmaksas aprēķināšanas algoritma blokshēma.**

Avots: Autora pielāgots attēls no (Zacepins et al., 2013).

Algoritma apraksts:

Pirmajā posmā lauksaimniekam jānosaka, cik daudz objektu ir plānots uzraudzīt ar parametru mērīšanas sistēmas palīdzību.

Otrajā posmā ir jāizveido saraksts ar atpazīstamiem objekta notikumiem (stāvokļiem). Sarakstā ir jāiekļauj informācija par notikuma atpazīšanas ieguvumu naudas izteiksmē un notikuma iestāšanos varbūtību gada laika. Beigās notikumu saraksts ir jāsakārto pēc ieguvuma svarīguma.

Trešajā posmā ir nepieciešams cikliski pētīt visus definētos notikumus, kur par katru no tiem ir jānosaka notikuma ietekmētie objekta parametri (vienu vai vairākus). Tad, balstoties uz ekspertu zināšanām vai iepriekš veiktiem eksperimentiem, ir jānovērtē pareiza notikuma atpazīšanas varbūtība (diapazonā no 0 līdz 1) ar konkrēti izvēlēto parametru. Pēc tam ir jāaprēķina parametru mērīšanas sistēmas ieviešanas izmaksas (investīcijas) un to atmaksas koeficients.

Mērīšanas sistēmas investīciju atmaksas koeficients (IAK) tiek rēķināts pēc formulas:

$$IAK = \frac{SI}{Ieg \times ObjSk \times Nprob \times NAprob} \tag{1}$$

kur SI - mērsistēmas ieviešanas izmaksas (naudas izteiksmē);
Ieg - ieguvumi no viena notikuma atpazīšanas (naudas izteiksmē);
$ObjSk$ - mērīšanā iesaistīto objektu skaits;
$Nprob$ - varbūtība, ka notikums ir iespējams gada laikā;
$NAprob$ - varbūtība, ka notikums tiks atpazīts;
IAK - investīciju atmaksas koeficients.

Ceturtajā posmā, kad visi notikumi ir izpētīti, ir jāaprēķina katras unikālās mērsistēmas kopējais IA koeficients, jo iespējama situācija, kad ar vienu mērsistēmu var atpazīt vairākus objekta stāvokļus.

Mērīšanas sistēmas kopējais investīciju atmaksas koeficients (SIAK) tiek rēķināts pēc formulas:

$$SIAK = \frac{SI}{\sum(Ieg \times ObjSk \times Nprob \times NAprob)} \tag{2}$$

kur SI - mērsistēmas ieviešanas izmaksas (naudas izteiksmē);
Ieg - ieguvumi no viena notikuma atpazīšanas (naudas izteiksmē);
$ObjSk$ - mērīšanā iesaistīto objektu skaits;
$Nprob$ - varbūtība, ka notikums ir iespējams gada laikā;
$NAprob$ - varbūtība, ka notikums tiks atpazīts;
$SIAK$ - kopējais sistēmas ieviešanas investīciju atmaksas koeficients.

Piektajā posmā ir jāsakārto visas iespējamās mērsistēmas pēc SIA koeficienta.

Sestajā posmā ir jāpieņem lēmums par vienas vai vairāku mērsistēmu ieviešanu savā lauksaimniecības praksē.

2.2.2. Metodikas izmantošanas piemērs precīzajā biškopībā.

Piemērā izmantotās ilustratīvā izmaksas ir aptuvenas un var netabilst faktiskajām dažādu iemeslu dēļ. Piemērā ir izmantoti tikai daži precīzajā biškopībā svarīgie saimju stāvokļi.

1. Uzraugāmo objektu skaita noteikšana – 10 bišu saimes.

2.1. Atpazīstamo notikumu identificēšana:

a. bišu saimes spietošana;
b. bišu saimes bojāeja;
c. bišu saimes nozagšana.

2.2. Ieguvumi no notikuma atpazīšanas (latos par vienu objektu):

a. ½ no bišu saimes – 25;
b. bišu saime – 50;
c. bišu saime + bišu strops – 80.

2.3. Notikuma iespējamības varbūtība gada laikā:

a. bišu saimes spietošana – 0.5;
b. bišu saimes bojāeja – 0.2;
c. bišu saimes nozagšana – 0.1.

2.4. Notikumu ranžēšana pēc ieguvumiem no dārgākā uz lētāko (latos par visiem objektiem):

a. saimes nozagšana – 800;
b. saimes bojāeja – 500;
c. saimes spietošana – 250.

3.1. Izmaiņām pakļauto parametru noteikšana 1. notikumam (saimes nozagšana):

a. temperatūra;
b. skaņa;
c. video;
d. masa.

3.2. Pareizas notikuma atpazīšanas varbūtības novērtēšana 1.notikumam:

a. temperatūra – 0.2;
b. skaņa – 0.4;
c. video –1;
d. masa – 0.6.

3.3. Mērsistēmu ieviešanas izmaksas (latos):

a. temperatūras mērīšanas sistēma – 200;
b. skaņas uzraudzības sistēma – 300;
c. video novērošanas sistēma – 120;
d. svara izmaiņu uzraudzības sistēma – 1000;

3.4. Mērsistēmas investīciju atmaksas koeficienta aprēķināšana:

a. temperatūra – 12.5;
b. skaņa – 9.375;
c. video – 1.5;
d. masa – 20.83.

Analizējot citus notikumus, iegūstam tabulu (skat. 2.1. tabulu) ar visiem sistēmas investīciju atmaksas koeficientiem:

2.1. tabula. **Precīzas biškopības sistēmu investīciju atmaksas koeficienti**

Mērsistēmas tips	Saimes nozagšana	Saimes bojāeja	Saimes spietošana
Temperatūra	12.5	2.5	2.67
Skaņa	9.375	3	6
Video	1.5	-	-
Masa	20.83	-	-

4. Aprēķinot kopējo sistēmu investīciju atmaksas koeficientus, iegūstam šādu rezultātu:

Mērsistēmas tips:	**Kopējais sistēmas IA koeficients:**
Temperatūra:	1.17
Skaņa:	1.65
Video:	1.50
Masa:	20.83

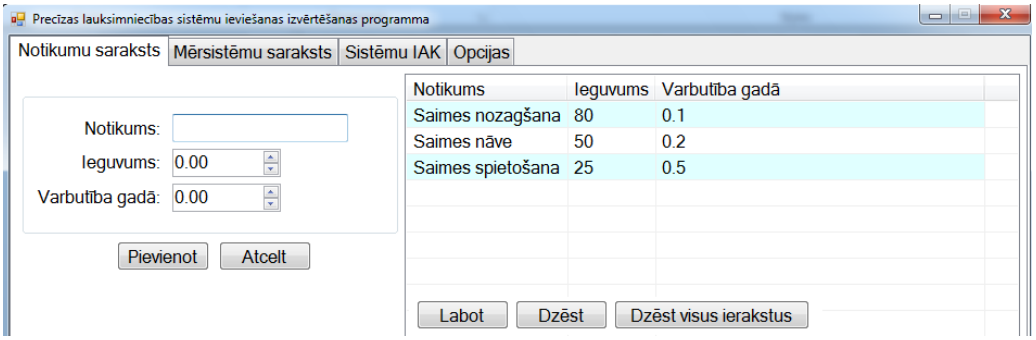
Pētītajā piemērā izdevīgāk ir ieviest temperatūras mērīšanas sistēmu, kura atmaksāsies 1,17 gadu (ap 14 mēnešu) laikā.

2.2.3. Programma metodikas realizācijai

Precīzās lauksaimniecības sistēmu ieviešanas lietderības izvērtēšanas metodikas realizācijai ir izstrādāta datora programma (*SEPA – System Evaluator for Precision Agriculture),* ar kuras palīdzību var veikt aprēķinus un salīdzināt vairāku sistēmu IAK. Programma ir brīvi pieejama lejupielādēšanai pēc adreses: http://www.ccsystems.lv/software/sepa (Zacepins et al., 2013).

Programma ir veidota no vairākiem blokiem, kuri atbilst piedāvātās metodikas posmiem.

Pirmajā blokā (skat. 2.16. att.) lietotājam ir jāizveido notikumu saraksts. Ievadot notikumus papildus ir jāievada informācija par notikuma atpazīšanas ieguvumu naudas izteiksmē un notikuma iestāšanos varbūtību gada laika. Pēc saraksta izveidošanas lietotājam ir iespēja notikumus labot vai dzēst.

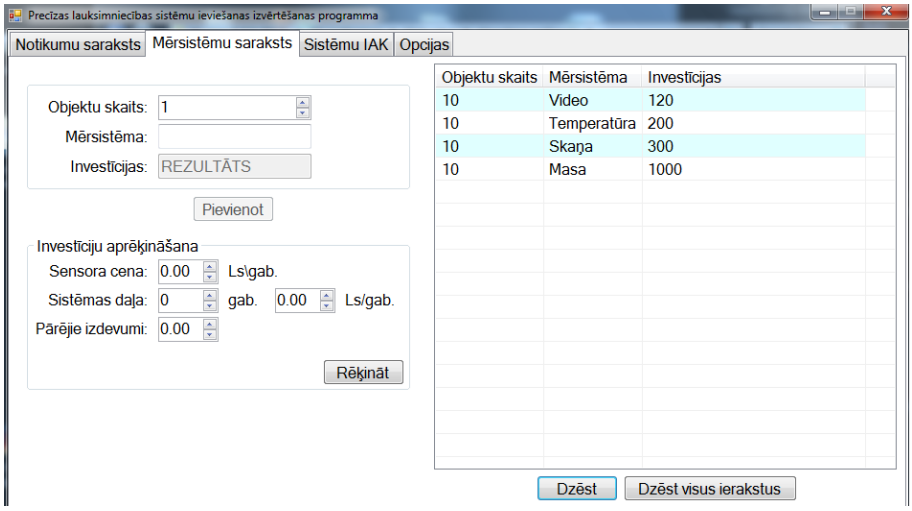


2.16. att. **Metodikas realizācijas programmas notikumu saraksta bloks.**
Avots: Autora uzņemtais ekrāna attēls.

Otrajā blokā (skat. 2.17. att.) lietotājam ir jāizveido sistēmu saraksts, kur ievadīt visas iespējamas sistēmas ar kuram vat atpazīt definētos notikumus. Katrai sistēmai ir

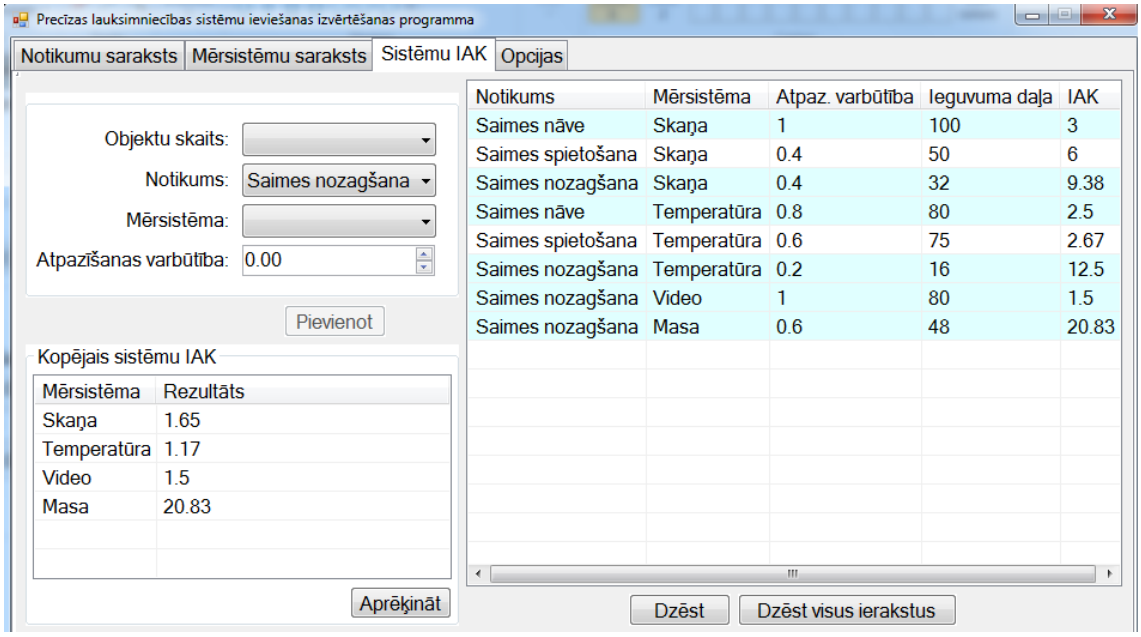
jāapreķina ieviešanas investīcijas. Autors piedāvā investīciju apreķināšanu veidot no trīm daļām:

- sensora cena – kur ir jāievada viena sensora cena;
- sistēmas daļa – izdevumi, kuri ir saistīti ar tādu sistēmas daļu, kas ir atkarīga no konkrēta sensora skaita;
- pārējie izdevumi – daļa, kur jāņem vērā visi papildus iespējamie izdevumi.



2.17. att. **Metodikas realizācijas programmas mērsistēmu saraksta bloks.**
Avots: Autora uzņemtais ekrāna attēls.

Trešajā blokā (skat. 2.18. att.) lietotājam ir jāizveido visas iespējamas kombinācijas, kad vienu notikumu var atpazīt ar dažādam sistēmam. Katrai kombinācijai ir jāpieraksta notikuma atpazīšanas varbūtība. Pēc ievades programma apreķinās sistēmas IAK. Kad visas kombinācijas ir ievadītas var nospiest pogu „Aprēķināt" un programma aprēķinās katras unikālās sistēmas kopējo IAK.



2.18. att. **Metodikas realizācijas programmas sistēmu IAK bloks.**
Avots: Autora uzņemtais ekrāna attēls.

Programmā ir izveidotas arī atsevišķs bloks ar nosaukumu „Opcijas", kur var veikt administratīvas operācijas, piemēram, veidot informācijas rezerves kopēšanu.

2.3. Lēmuma atbalsta sistēma

Lēmuma atbalsta sistēmas (no angļu val. *decision support system (DSS)*) mērķis ir, apkopojot biosistēmas mērījumus, noteikt biosistēmas pašreizējo stāvokli un prognozēt to attīstību. Galvenais šīs sistēmas uzdevums ir noteikt vai ir nepieciešams ietekmēt biosistēmu un mēģināt mainīt tās stāvokli, mainot mikroklimata vadības sistēmas darbības algoritmu vai kā savādāk ietekmējot biosistēmu. Lēmuma atbalsta sistēmu veido datu analizēšanas modulis un modeļu apakšsistēma.

2.3.1. Lēmuma atbalsta sistēmas jēdziens

Lēmuma atbalsta sistēma (LAS) ir datorizēts tehnoloģiskais risinājums, kurš tiek lietots ar mērķi atbalstīt kompleksu lēmuma pieņemšanas procesu un specifisku problēmas risināšanu (Shim et al., 2002).

Klasiski LAS rīku veido trīs komponentes (Shim et al., 2002):

- komplicēta datu bāze ar pieeju iekšējiem un ārējiem datiem, informāciju un zināšanām;
- modeļu vadības sistēma ar modelēšanas funkcijām;
- interaktīva lietotāju saskarne, ar kuras palīdzību tiek veiktas atskaites un vizualizācija.

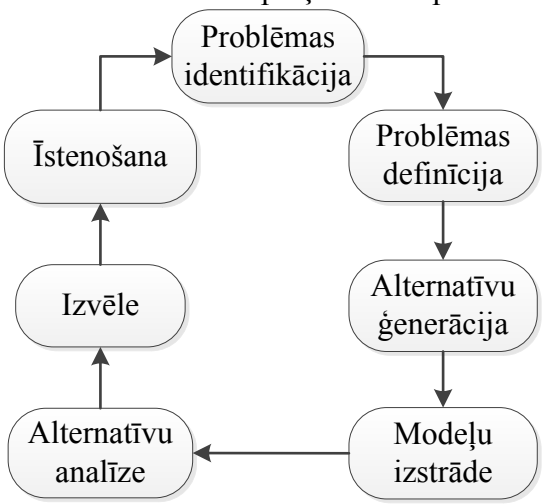
Daudzi pētījumi un praktiskie darbi bija realizēti katrā no šīm komponentēm. LAS, sākot no izstrādes laika 1970.gadā, ir būtiski mainījusies un pilnveidojusies. Pēdējo trīs dekāžu laikā LAS orientējas gan uz šaurāku, gan uz plašāku problēmu loku, kamēr pārējās sistēmas fokusējas tikai uz specifiskām problēmām. Pētījumi šajā laukā tipiski ir orientēti uz tādu būtību, kā informācijas tehnoloģijas var uzlabot lietotāja lēmuma pieņemšanas efektivitāti un optimizēt paša lēmuma precizitāti (Pearson, Shim, 1995).

Informācijas tehnoloģiju infrastruktūras attīstība vai evolūcija notika paralēli ar datoru industrijas attīstību – datu apstrādes ēru, mikrodatoru ēru un tīklu tehnoloģiju ēru (Nolan, Croson, 1995). Balstoties uz minētajām infrastruktūrām, 1970. gados LAS rīks darbojās DOS un UNIX vidē, tad 90. gados pārgāja uz Windows vidi. Internet tehnoloģijas parādīšanās ļāva LAS rīkiem un sistēmām izmantot arī to priekšrocības, it īpaši ļaujot ātri izplatīt informāciju un datus starp lēmuma pieņemošajām personām (Shim et al., 2002).

Oriģināli LAS koncepciju bija skaidri definējuši *G. Gorry* un *M. S. S. Morton* (Gorry, Morton, 1971), kuri apvienojuši *R. Anthony* (Anthony, 1965) pārvaldības darbības kategorijas ar *S. M. D. Simona* (Simon, 1960) lēmuma tipu aprakstiem. *R. Anthony* rakstīja par pārvaldības aktivitātēm, kuras veido stratēģiskās plānošanas, pārvaldības kontroles un operacionālās kontroles. *S. M. D. Simon* rakstīja par lēmuma problēmām, izdalot programmētās un neprogrammētās problēmas. *G. Gorry* un *M. S. S. Morton* apvienoja minētās definīcijas un iedalīja strukturētas, nestrukturētas un pusstrukturētas problēmas. Viņi arī izmantoja *S. M. D. Simona* intelekta, izvēles un dizaina definīcijas, lēmuma pieņemšanas procesā. Šajā kontekstā intelektu veido problēmas meklēšana, dizains iekļauj lēmuma alternatīvu izstrādi un izvēli veido alternatīva analizēšanas un labāka risinājuma izvēles (Shim et al., 2002).

LAS bija definēta kā datorizēta sistēma, kura risināja problēmu, kur vismaz viens etaps bija pusstrukturēts vai nestrukturēts. Datorizētā sistēma bija izstrādāta, lai tiktu galā ar problēmas strukturēto daļu, bet gala lēmums paliek lēmumu pieņemošajai personai, kura ņemtu vērā arī nestrukturēto problēmas daļu (Shim et al., 2002).

2.19. att. apraksta klasisko lēmuma pieņemšanas procesu:



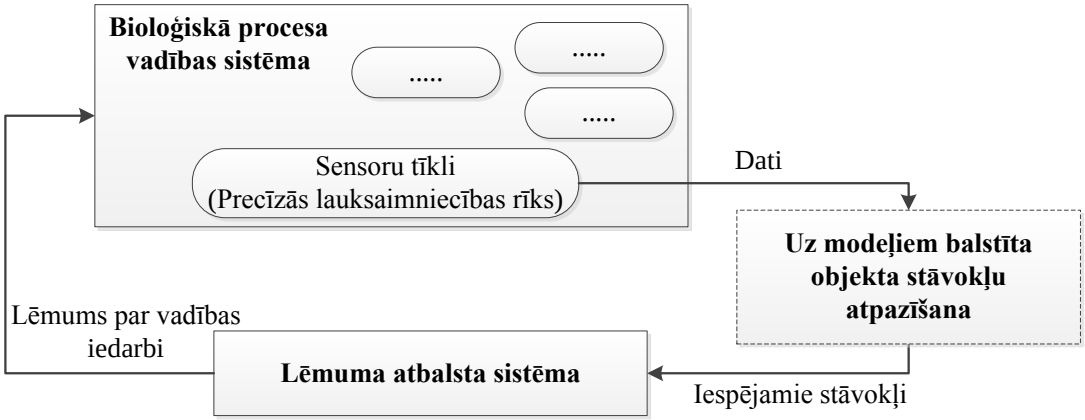
2.19. att. **Klasiskais lēmuma pieņemšanas procesa modelis.**
Avots: Autora pielāgots attēls no (Shim et al., 2002).

Šajā pieejā galvenā ir modeļu izstrāde un problēmas analīze. Kad problēma tiek atpazīta, ir definēti apgalvojumi, kuri palīdzētu izveidot modeļus risinājumu salīdzināšanai, alternatīvie risinājumi tiek izstrādāti, un modeļi tiek izveidoti. Tad izvēle tiek veikta, balstoties uz modelēšanas rezultātiem, un lēmums tiek īstenots. Jāpiebilst, ka process nav secīgs, ir iespējams atgriezties iepriekšējā solī vai apvienot vairākus soļus (Shim et al., 2002).

Pēdējo divu dekāžu laikā pētījumi LAS virzienā sākuši ietvert arī dažādus papildus konceptus un skatus. Sākot no 1985.gada ir ieviestas grupu lēmuma atbalsta sistēmas (no angļu val. *group decision support support systems*) vai vienkārši grupu atbalsta sistēmas jēdziens. Modeļu vadības sistēmas un zināšanas balstītas lēmuma atbalsta sistēmas sāka lietot arī metodes ar mākslīgo intelektu (Courtney, Paradice, 1993).

2.3.2. Modeļu sadarbības metodika lēmumu atbalsta sistēmās

Promocijas darba autors uzskata, ka nepamatoti maza uzmanība PL uzdevumu risināšanas procesā ir pievērsta dažādu modeļu izmantošanai. Risinot konkrētu uzdevumu, ir iespējams operēt ar vairākiem modeļiem, ko varētu nosaukt par daudzmodeļu vadību, kas, pēc autora domām, uzlabotu lēmuma pieņemšanas sistēmas darbību (skat. 2.20. att.):



2.20. att. **PL uzdevumu modeļu bāzētas risināšanas shēma.**
Avots: Autora veidots attēls.

Modeļu uzdevums ir attēlot dažādus procesus, fizikālus, bioloģiskus vai ekonomiskus, vai dažādas parādības, kas dod priekšstatu par notiekošajiem procesiem. Parasti modeļi dod vienkāršotu priekstatu par pētāmo objektu, bet, neskatoties uz to, modeļu sniegtā informācija ir noderīga pētījumu veikšanai un procesu detalizētai izpētei (Sokolowski, Banks, 2009).

Modeļi var tikt klasificēti dažādi, bet visus pētniecības uzdevumus, kuri ir saistīti ar objektu pētīšanu pēc modeļa sniegtās informācijas, var sadalīt divās kategorijās: identifikācijas (kvalitatīvi) un kvantitatīvi uzdevumi (Holjushkin, Grazhdannikov, 2000).

Identifikācijas uzdevuma būtība ir izstrādāt procedūru, uz kuru balstoties pētnieks varēs droši atpazīt atsevišķus objektus un piefiksēs tās kvalitatīvos parametrus (pazīmes). Pazīme ir zinātnisko datu apkopojums par konkrētu objektu, kuri var būt uzdoti mutiski vai vizuāli (Holjushkin, Grazhdannikov, 2000).

Kvantitatīvo uzdevumu būtība ir atrast metodi, lai noteiktu objekta daudzumu jeb kvantitatīvus parametrus. Kvantitatīvā pazīme ir zinātnisko datu apkopojums par konkrētu objektu, kurš var būt izteikts ar skaitli (Holjushkin, Grazhdannikov, 2000).

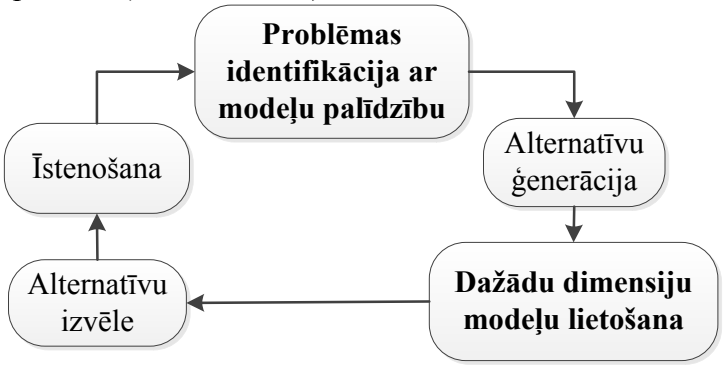
Identifikāciju un kvalitatīvie uzdevumi ir dialektiski sasaistītu kategoriju pāri. Balstoties uz diviem pētniecības uzdevumu tipiem, var izdalīt arī divus pamatmodeļu tipus: kvalitatīvie vai aprakstošie (deskriptīvie) un kvantitatīvie modeļi (Holjushkin, Grazhdannikov, 2000).

Deskriptīvie modeļi ir oriģinālo objektu analogi pēc kvalitatīviem parametriem (pazīmēm), kvantitatīvie modeļi – pēc kvantitatīviem parametriem (rādītajiem).

Izmantojot šo modeļu sadalījumu, no vienas puses, var izdalīt modeļa pamataspektu jeb noteikt, kādiem mērķiem modelis ir domāts, un atkarībā no tā noteikt ta tipu. No otras puses, jebkuru modeli var izteikt ar diviem modeļiem, no kuriem viens ir deskriptīvs un otrs - kvantitatīvs (Holjushkin, Grazhdannikov, 2000).

Balstoties uz divu veida modeļiem, kuri ir izstrādāti, ņemot par pamatu ekspertu zināšanas vai iepriekšējos eksperimentos iegūtus datus, vadības sistēma spēj automatizēti pieņemt lēmumus par bioloģiskā objekta stāvokli vai aktivitāti un var ieteikt nepieciešamās darbības vai arī izpildīt tās patstāvīgi, nepiesaistot cilvēku.

Bioloģisku sistēmu vadībā zinātniekiem parasti trūkst uzticamas un pilnīgas informācijas par vadāmā objekta stāvokli un uzvedības algoritmiem, bet tajā pašā laikā ir iespēja analizēt vairākus atsevišķus informācijas daudzumus, kas aprakstāmi ar savstarpēji nesaistītu modeļu formu. Promocijas darba autors piedāvā modificēt klasisku lēmuma atbalsta procesu (skat. 2.21. att.):



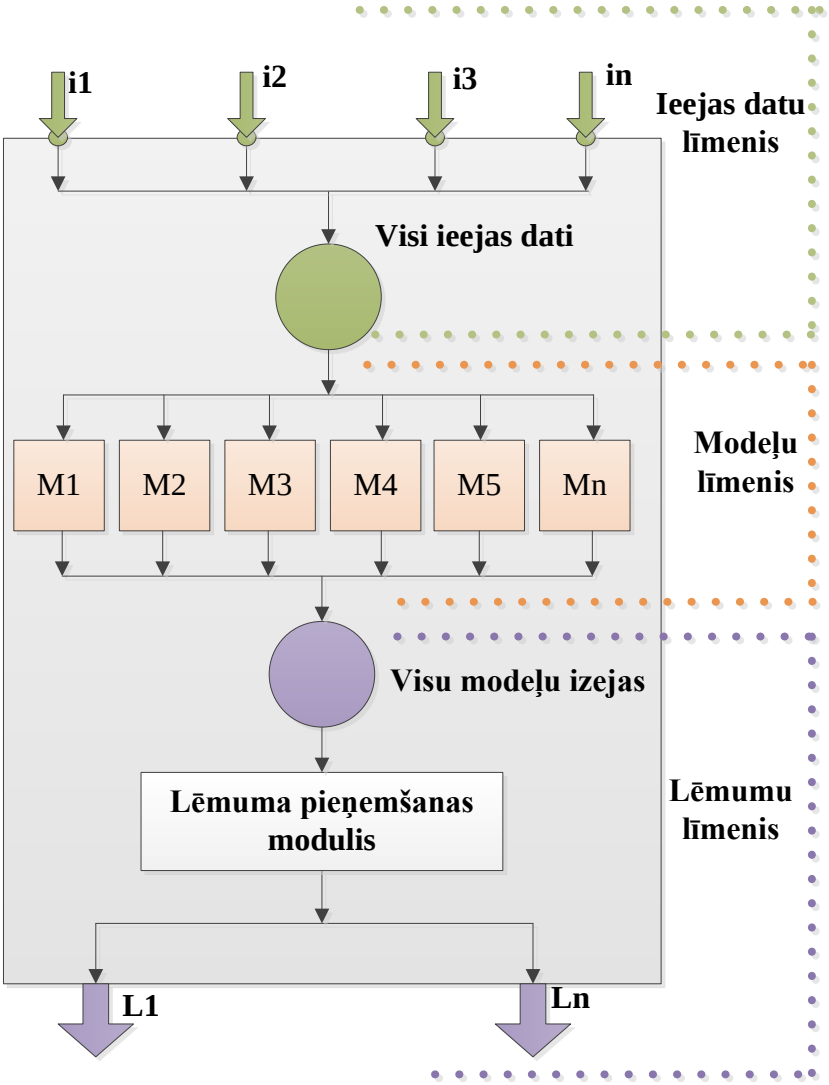
2.21. att. **Autora piedāvātais lēmuma pieņemšanas procesa modelis.**
Avots: Autora veidots attēls.

Darba autors piedāvā lēmuma pieņemšanas procesā lietot modeļus, nevis tikai alternatīvu analīzei un seku modelēšanai, bet arī ar mērķi identificēt pētāmā objekta stāvokli, un tādejādi ieteikt pareizāko lēmuma alternatīvu, balstoties uz pētāmo objektu.

Kā arī ir vēl viena tāda īpatnība, ka ir izmantots nevis viens modelis problēmas identifikācijai, bet vairāki kvalitatīvie un/vai kvantitatīvie modeļi, un, analizējot visu modeļu izejas, ir iespējams iegūt plašāku skatu uz objektu un tādējādi pieņemt precīzāku lēmumu.

Autora piedāvāto lēmuma pieņemšanas procesu var sadalīt trijos līmeņos (skat. 2.22. att.):

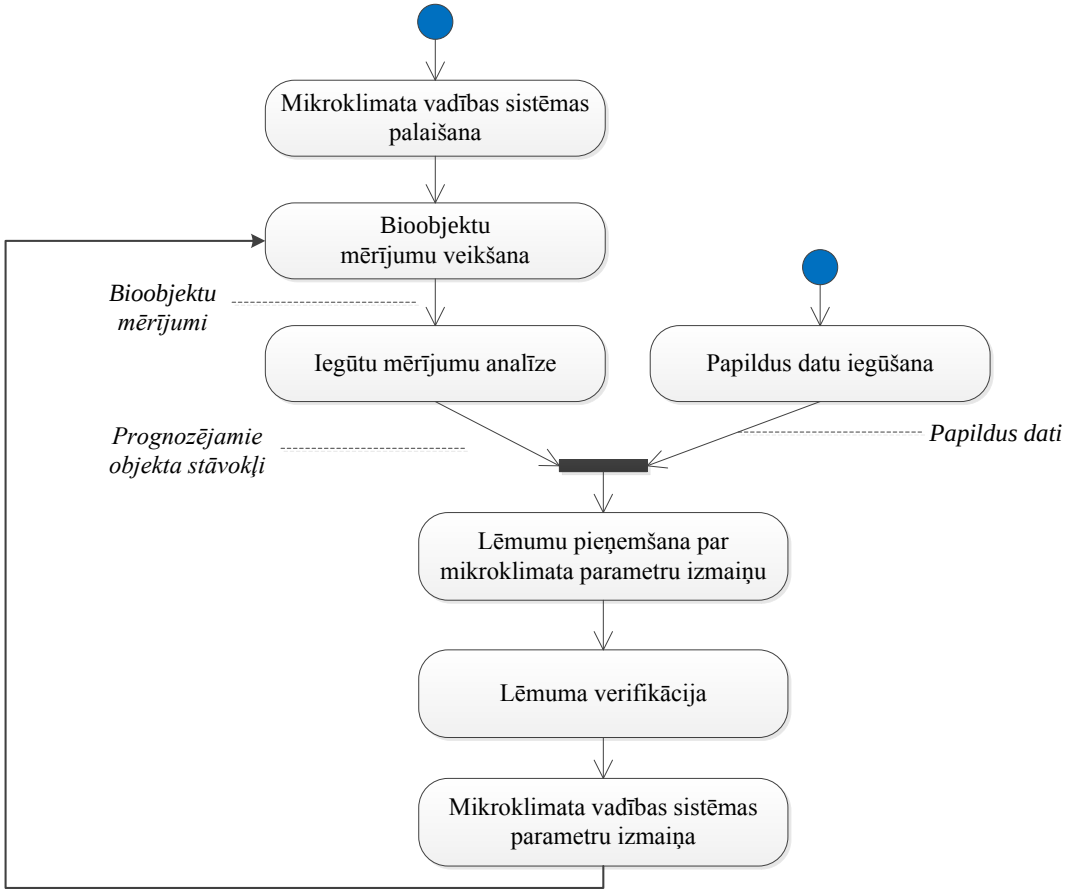
- *ieejas datu līmenis* – kur tiek definēti nepieciešamie dati gan par pētāmā procesa norisi, gan par pašu objektu;
- *modeļu līmenis* – kur visi ieejas dati tiek izmantoti vairākiem dažādu dimensiju modeļiem, ar mērķi noteikt objekta stāvokli un procesa statusu;
- *lēmumu līmenis* – kur visu modeļu izejas dati tiek analizēti ar mērķi izvēlēties problēmas risinājumu.



2.22. att. **Lēmuma pieņemšanas procesa trīs līmeņi.**
Avots: Autora veidots attēls.

Vispārējais biosistēmas vadības darbības algoritms (skat. 2.23. att.) ir šāds:

- ir iedarbināta mikroklimata vadības sistēma;
- paralēli ar konstantu laika intervālu ir veikti bioobjektu parametru mērījumi;
- visi iegūtie mērījumi ir analizēti, un, ņemot vērā papildus, datus, ir pieņemts lēmums par nepieciešamību mainīt mikroklimata parametrus ar mērķi mainīt bioobjekta stāvokli;
- nākamajā solī sistēmas lēmums ir jāverificē;
- pēdējais solis ir mikroklimata vadības sistēmas parametru izmaiņa.



2.23. att. **Slēgtās biosistēmas vadības darbības shēma.**
Avots: Autora veidots attēls.

Nodaļas secinājumi

Risinot bioloģiskā procesa vadības uzdevumus, plaši tiek lietotas adaptīvas vadības sistēmas, jo vadības realizācijas sekas nav droši prognozējamas. Ierobežotas prognozējamības iemesls ir bioloģisko procesu nelineārā dinamika un nepilnīgas zināšanas par biosistēmām, ka arī procesu dinamiskajiem parametriem. Galvenā adaptācijas principa priekšrocība ir pielāgošanās spēja iepriekš nezināmām izmaiņām nestacionārā vadības objektā, kas dod iespēju nodrošināt augstu sistēmas darbības kvalitāti mainīgos darba vides apstākļos.

Dažādām PL variācijām piemērota vadības sistēmu arhitektūras literatūra nav atrasta, jo autori parasti piedāvā noteiktas problēmas risinājumu, nekoncentrējoties uz arhitektūras problemātiku.

Sistēmas arhitektūrai ir jāatbilst vairākām prasībām: pirmkārt, ir jāparedz sistēmas attālināta vadība (sistēmai ir jāspēj savākt dati no daudzām ģeogrāfiski

sadalītām vienībām lēmuma kvalitātes uzlabošanai). Otrkārt, sistēmai ir jābūt dalītai, kas nozīmē, ka ģeogrāfiskajā vietā, kur notiek bioloģiskais process, atrodas autonomai vadībai minimāli nepieciešama sistēma ar zemām darba vides prasībām (piem., plašs mitruma, temperatūras, vibrāciju utt. diapazons), bet datu apstrādes sistēma atrodas skaitļošanas sistēmai piemērotā vidē. Treškārt, ir jārealizē visu vadībā iesaistīto objektu parametru mērīšana vadības atgriezeniskās saites realizēšanai. Tāpēc autors sava pētījuma ietvaros piedāvā unificētu vadības sistēmas arhitektūru bioloģisko objektu uzraudzības un vadības uzdevuma risināšanai, balstītu uz PL uzdevumu modeļu bāzētas risināšanas shēmu.

Modeļu izmantošanu vadības sistēmā nosaka nepieciešamība ar modeļu palīdzību izvērtēt procesa līdzšinējo progresu un tā attīstības prognozes vadības iedarbju realizācijā.

Izplatīta automātiskās vadības iekārta bioloģiskiem procesiem piemērotā vidē ir programmējamais loģiskais kontrollers jeb PLK.

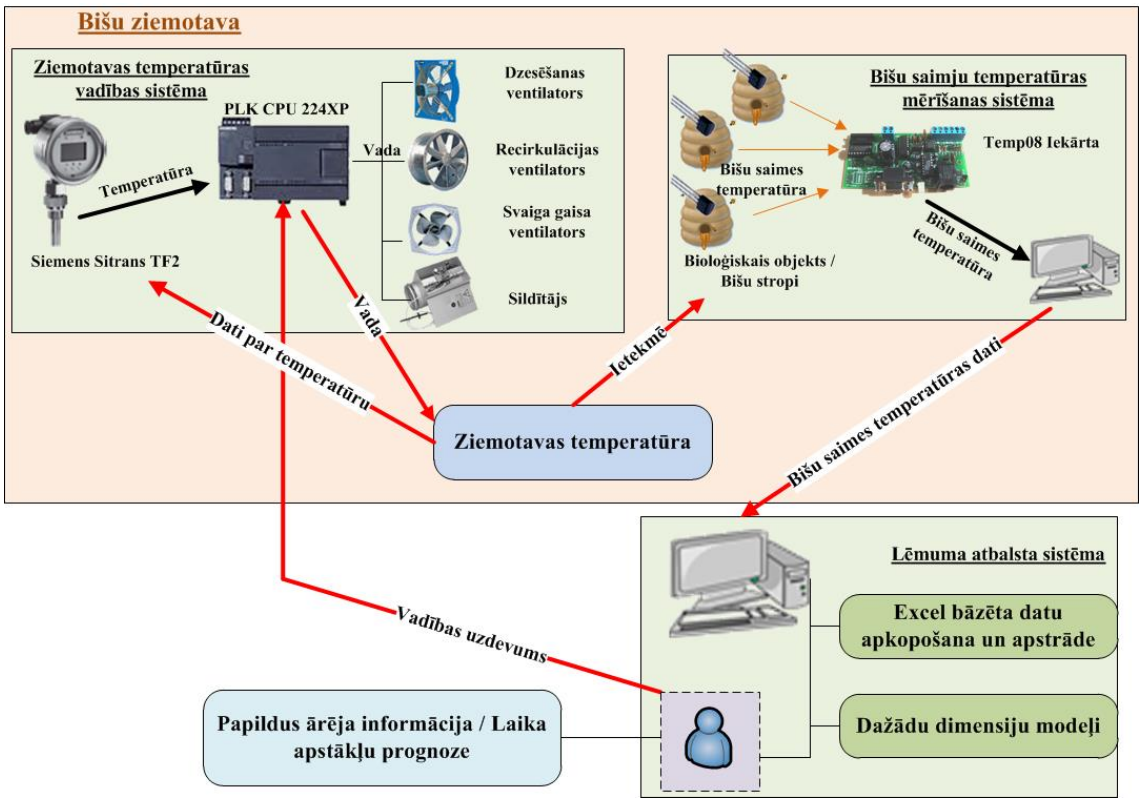
3. DAUDZOBJEKTU BIOSISTĒMAS DATORVADĪBAS PRAKTISKĀ REALIZĀCIJA PRECĪZAJĀ BIŠKOPĪBĀ

Promocijas darba ietvaros ir izstrādāta un eksperimentāli pārbaudīta uz modeļiem bāzēta, reāllaika, sadalīta, adaptīva bišu ziemošanas procesa vadība.

Tā kā bišu ziemošanas process ir bioloģisks process, jo tajā ir iesaistīti bioloģiskie organismi, to uzraudzība un vadība ir visai sarežģīts, netriviāls uzdevums, jo bioloģiskā objekta uzvedība un reakcija, iejaucoties cilvēkam, mēdz būt grūti prognozējama.

Izstrādāto vadības sistēmu veido vairāki tehniski elementi, un to izstrādes stadijā ir izmantotas zināšanas par vairākām informācijas tehnoloģiju sfērām, tādām kā programmēšana, sistēmu modelēšana, automātika, tīmekļu programmēšana, lietojumprogrammatūras, datu bāzēs un citas.

Izstrādāto sistēmu var iedalīt vairākos loģiskos blokos, kur katram ir sava funkcionālā noslodze, un tas var būt neatkarīgs no citiem blokiem. Autora izstrādātā sistēma balstīta uz konkrētu bioloģisko objektu vadības sistēmas arhitektūru, kura tika demonstrēta 2.6. att. Autora izstrādātā vadības sistēmas arhitektūras specifiskā versija bišu ziemošanas procesa vadībai ir demonstrēta 3.1. att.:



3.1. att. **Izstrādāta bišu ziemošanas procesa vadības sistēmas arhitektūra.** Avots: Autora pielāgots attēls no (Zacepins, Stalidzans, 2012).

Vadības sistēmas arhitektūras elementi:

1. Ziemotavas temperatūras automatizētā vadības sistēma;
2. Sensoru tīkls temperatūras mērīšanai stropos virs bišu ligzdas:
   2.1. Sensoru tīkla arhitektūra;
   2.2. Temperatūras mērījumu nolasīšanas process;

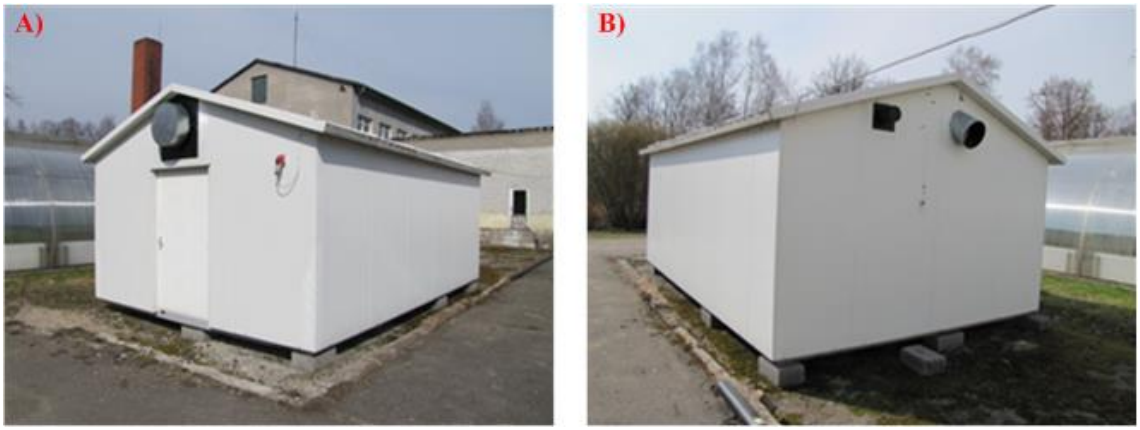
2.3. Temperatūras mērījumu tīmekļa saskarne;
3. Temperatūras mērījumu apkopošanas un analizēšanas rīks;
4. Papildus ārējo datu iegūšana un analīze;
5. Lēmumu pieņemšanas algoritms (par ziemotavas iekšējās temperatūras izmaiņām);
6. Lēmuma verifikācijas process (biškopja verifikācija);
7. Temperatūras vadības sistēmas mērķa temperatūras izmaiņas process.

Izstrādātās sistēmas izmantošanas uzdevuma tips raksturojams sekojoši: slēgtā telpā vai vidē darbojas automatizētā vadības sistēma, kura nodrošina telpas iekšējo parametru vadību un stabilitāti. Telpā atrodas novērojamais bioloģiskais objekts, kuram pastāvīgi tiek mērīti tā uzvedības parametri. Dati par objekta stāvokli tiek apkopoti un analizēti, papildus tiek ņemti vērā arī citi ārējie dati. Datu analīzes rezultātā ir sagatavots lēmums par vadības sistēmas nepieciešamajām izmaiņām, kuru ir nepieciešams akceptēt. Un gala rezultātā, operatora piekrišanas gadījumā, tiek mainīti telpas mikroklimata parametri.

3.1. Ziemotavas temperatūras automatizētā vadības sistēma

3.1.1. Bišu ziemotavas ēka

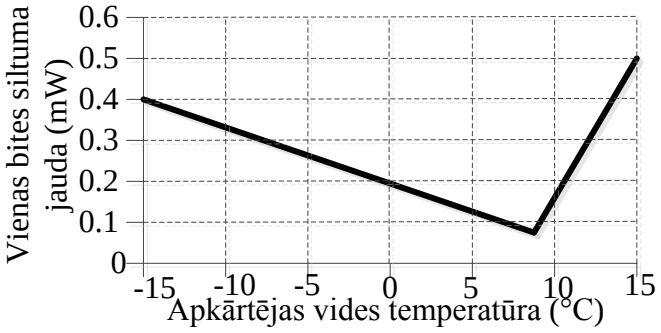
Bišu ziemotava ir ēka ar izmēriem 6.25m (garums) x 4.00m (platums) x 2.4m (augstums) (skat. 3.2. att.). Ziemotava ir uzcelta no sendviča tipa paneļiem (no angļu val. *sandwich panels*) ar sienas biezumu 80mm un jumta biezumu 100mm. Bišu ziemotava ir vajadzīga, lai biškopis ziemas periodā savas bišu saimes varētu tajā izvietot ar mērķi minimizēt bišu barības patēriņu ziemā un bišu fizioloģisko nolietošanos, vienlaikus padarot prognozējamus ziemināšanas rezultātus (Stalidzans, 2005). Lai sasniegtu šo mērķi, ir nepieciešams ziemotavā nodrošināt bišu saimēm piemērotus un stabilus mikroklimata parametrus.



3.2. att. **Bišu ziemotava (skats no priekšas (A) un skats no aizmugures (B)).**
Avots: Autora uzņemtais attēls.

Mikroklimatu raksturo vairāki parametri, bet bišu ziemotavā svarīgākais ir gaisa temperatūra, jo tieši šis parametrs ietekmē bišu saimes daudz vairāk nekā citi iespējamie mikroklimata parametri. Tādēļ ir būtiski nodrošināt temperatūras nemainīgumu un minimizēt tā svārstības visā ziemošanas periodā. Teorētiski ziemotavas iekšējai temperatūrai jābūt ap +8°C (Jeskov, 1983), jo tieši šāda temperatūra atbilst situācijai, kad bites izdala mazāk siltumu un patērē mazāk barības (skat. 3.3. att.). Temperatūras novirzes no optimuma augstākas temperatūras virzienā rada aptuveni piecas reizes

lielāku siltumjaudas (līdz ar to arī nolietošanās) pieaugumu, nekā novirzes zemākas temperatūras virzienā. Līdz ar to ziemotavā iestatītā temperatūra ir vēlama zemāka par +8°C.



3.3. att. **Bites siltuma jaudas lieluma atkarība no apkārtējās vides temperatūras.** Avots: Autora veidots attēls pēc (Jeskov, 1983).

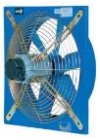
Straujām temperatūras izmaiņām ir negatīva ietekme uz bišu saimēm. Tā rezultātā kamola lielums bišu stropā varētu mainīties, medus kristalizācija varētu paātrināties, un stropā varētu rasties mitrums. Ievērojamam temperatūras palielinājumam var būt īpaši negatīva ietekme uz bišu ziemošanu. Tas var radīt situāciju, kad bites pāries uz aktīvo stāvokli un sāksies pāragra bišu perošanas stadija, kas savukārt palielina bišu saimes enerģijas patēriņu un gala rezultātā var novest pie peru vai pat saimes bojāejas. Šādas situācijas ir viens no riska faktoriem bišu ziemošanas laikā. Lai minimizētu šo risku, ir nepieciešams uzraudzīt un vadīt temperatūru ziemotavā, izmantojot vadības sistēmu.

3.1.2. Ziemotavas vadības sistēmas realizācija

Promocijas darba laikā ir modernizēta un pielāgota temperatūras vadības sistēma, kura ir balstīta uz Siemens S7-200 sērijas kontrollera. Kontrollers vada citas nepieciešamās sistēmas iekārtas. Izmantojamās iekārtas bišu ziemotavā ir apkopotas 3.1. tabulā.

3.1. tabula. **Ziemotavas vadības sistēmas iekārtas**

Nr.	Iekārtas vizuālais izskats	Iekārtas apraksts
1	 3.4. att. ***Siemens S7-200, CPU 224XP PLK* (skats no augšas).**	Siemens S7-200, CPU 224XP programmējamais loģiskais kontrollers (skat. 3.4. att.).
2	 3.5. att. **Recirkulācijas ventilators *JM Aerofoil*.** Avots: http://www.flaktwoods.com.	Gaisa recirkulācijas ventilators, kurš visu laiku darbojas un jauc (homogenizē) gaisu ziemotavā (skat. 3.5. att.) Ventilators ir *Flakt Wood Limited* kompānijas *JM Aerofoil* 35JM/16/4/5/20.

Nr.	Iekārtas vizuālais izskats	Iekārtas apraksts
3	 3.6. att. **Dzesēšanas ventilators *HJBPA*.** Avots: http://www.casals.tv.	Dzesēšanas ventilators, kurš ir nepieciešams, lai pazeminātu ziemotavas temperatūru, izmantojot āra gaisu (skat. 3.6. att.). Tiek izmantots *HJBPA* 30 T4/H 1/6 ventilators, kurš ir vadīts ar ABB ražotu frekvenču pārveidotāju *ACS350-01E-02A4-2*.
4	 3.7. att. **Svaiga gaisa ventilators.** Avots: Autora uzņemtais attēls.	Svaiga gaisa ventilators, kurš ir vajadzīgs, lai pastāvīgi nodrošinātu telpu ar svaigu gaisu (skat. 3.7. att.).
5	 3.8. att. ***VEAB* kompānijas sildītājs.** Avots: http://www.veab.com.	Elektriskais sildītājs, kurš pilda sildīšanas funkciju ziemotavā un uztur nepieciešamo gaisa temperatūru (skat. 3.8. att.). Tiek izmantots *VEAB* kompānijas *CV 35-30-1-MTU* sildītājs.
6	 3.9. att. **Temperatūras sensors *Siemens Sitrans TF2*.** Avots: http://www.siemes.com.	Temperatūras sensors *Siemens Sitrans TF2* (skat. 3.9. att.). Ziemotavā ir izmantoti divi šāda veida sensori, viens mēra iekšējo ziemotavas temperatūru, otrs – āra gaisa temperatūru.
7	 3.10. att. **Autonomā dzesēšānas sistēma.** Avots: Autora uzņemtais attēls.	Autonomā dzesēšanas sistēma (skat. 3.10. att.) ir nepieciešama, lai samazinātu gaisa temperatūru ziemotavā.

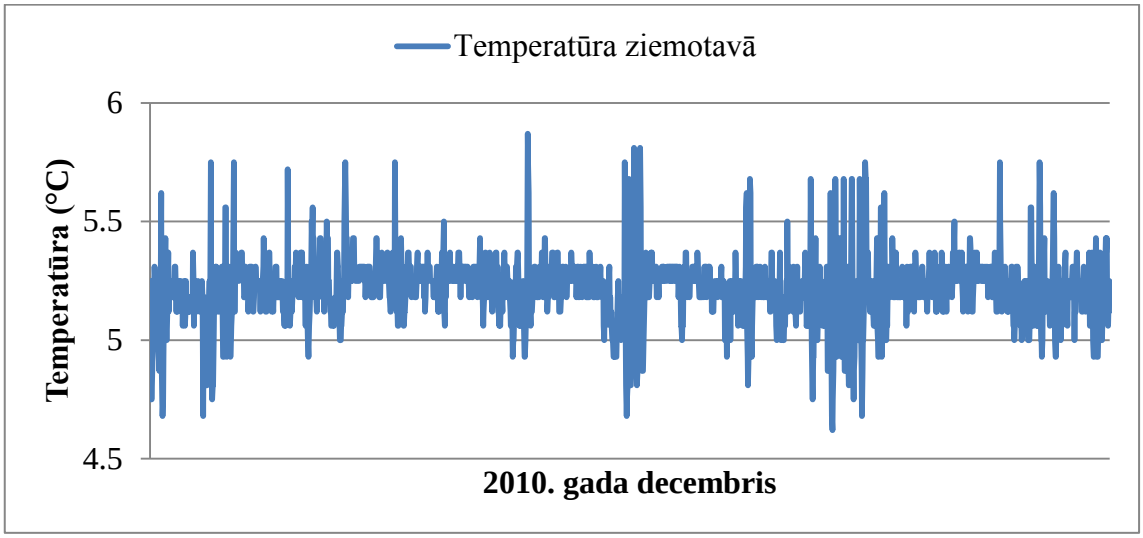
Vadības sistēmas galvenais mērķis ir autonomi nodrošināt stabilu temperatūru ziemotavā un kontrolēt tās izmaiņas. Temperatūras mērījumi ir veikti, izmantojot *Siemens Sitrans TF2* sensoru. Ziemotavas reālais tehniskais izpildījums ir demonstrēts 3.11. attēlā.

3.11. att. **Ziemotavas tehniskais izpildījums.**
Avots: Autora uzņemtais attēls.

Lai PLK varētu izpildīt visas nepieciešamās funkcijas, ir jāizveido tā vadības programma. Kontrollera vadības programma ir radīta, izmantojot *STEP7 MicroWin* programmatūru. *STEP7 MicroWIN* – Siemens AG kompānijas izstrādāta programmatūra, kura ļauj veidot vadības sistēmas uz Siemens kontrolleru bāzes. Programmatūra iekļauj sevī visus nepieciešamos līdzekļus Siemens S7-200 sērijas kontrolleru programmēšanai: sākot no iebūvētu instrukciju kopuma līdz IEC 61131 standarta atbilstošai programmēšanai. Šis standarts nosaka PLK programmēšanas valodas sintaksi, semantiku un attēlošanu. Starptautiskā elektrotehniskā komisija (IEC) 1993. gadā pieņēma standartu IEC 61131 par PLK programmēšanas valodām. Tas tika darīts ar nolūku likt ražotājiem PLK programmēšanai izmantot kopējas valodas, lai atvieglotu speciālistu apmācību, radītu iekārtu savstarpējo aizvietojamību, kā arī ļautu izmantot kopēju programmnodrošinājumu vairāku ražotāju produkcijai. Pateicoties starptautiskajam atbalstam, šis standarts nav atkarīgs ne no vienas kompānijas. *STEP7 MicroWIN* programmatūra ļauj izmantot arī definētas veidnes iebūvēto funkciju izmantošanai.

MicroWIN programmas lietotāja saskarnes un navigācijas izvēlnes apraksts ir dots 2.pielikumā.

Pēc vadības programmas izstrādes notika reālie eksperimenti ar temperatūras vadības sistēmu ziemotavā. Visu nepieciešamo laika periodu eksperimentu laikā (2010-2011 ziemas periods) izstrādātā temperatūras vadības sistēma spēja nodrošināt ziemotavas iekšējo temperatūru uzstādītā mērķa līmenī. Mērķa temperatūra bija +5°C un pēc 3.12. att. ir redzams, ka reālās temperatūras vērtības sistēmas darbības laikā bija robežās no +4.7 līdz +5.9 °C.



3.12. att. **Ziemotavas temperatūra 2010.gada decembrī.**
Avots: Autora veidots attēls pēc eksperimentālajiem datiem.

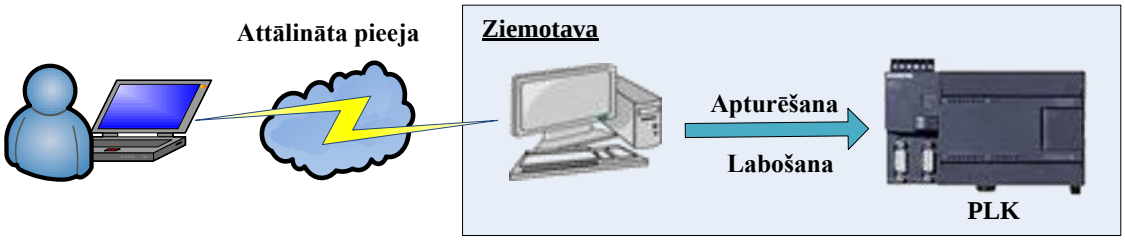
3.1.3. Attālinātā piekļuve un avārijas situācijas izziņošana

Ziemotavas vadības sistēmai ir jādarbojas nepatraukti četrus mēnešus (no novembra vidus līdz marta vidum). Šajā laikā ir iespējams risks, ka sistēmai radīsies kādas kļūdas vai tehniskās problēmas, vai sistēma var pat pilnīgi apstāties. Tādēļ ir nepieciešams izstrādāt līdzekļus šāda veida riska minimizācijai. Ir būtiski nodrošināt PLK patstāvīgu un korektu darbību un minimizēt PLK zaudlaiku (no angļu val. *downtime*). Bet, ja tomēr kāda problēma rodas, ir svarīgi, lai tā būtu pēc iespējas mazāka un pēc iespējas ātrāk atrisināma. Tāpēc ir ļoti nopietni jāstrādā un jāizveido risku minimizēšanas plāns, kurš definēs, kas ir jādara konkrētajā briesmu gadījumā.

Praktiski ir iespējams izstrādāt vairākus risinājumus, ar kuriem var panākt riska minimizēšanu.

- **Attālinātās pieejas nodrošināšana**

Ziemošanas periodā nav vēlams un ieteicams atrasties un slēgt gaismu ziemotavā, jo tas var izraisīt bišu aktivitāti, un tās var izlidot ārā no stropiem. Tādēļ, lai atrisinātu loģiskās sistēmas kļūdas, ir nepieciešams lietot attālinātās pieejas piedāvātās iespējas. Attālinātās pieejas tehnoloģija ļauj, izmantojot jebkādu datoru ar mērķi pieslēgties vajadzīgajam attālinātajam datoram citā ģeogrāfiskā vietā. Piemēram, ir iespējams, izmantojot mājas datoru, pieslēgties darba datoram un lietot tā programmas un failus. Ir iespējams iedarbināt programmu uz darba datora un redzēt tās progresu un statusu mājās. Mūsu gadījumā tas ļauj biškopim, sēžot mājās, pieslēgties bišu ziemotavā strādājošajam datoram, kurš savukārt ir tieši pieslēgts temperatūras vadības sistēmai (skat. 3.13. att.):



3.13. att. **Attālinātas pieejas konceptuālā shēma.**
Avots: Autora veidots attēls.

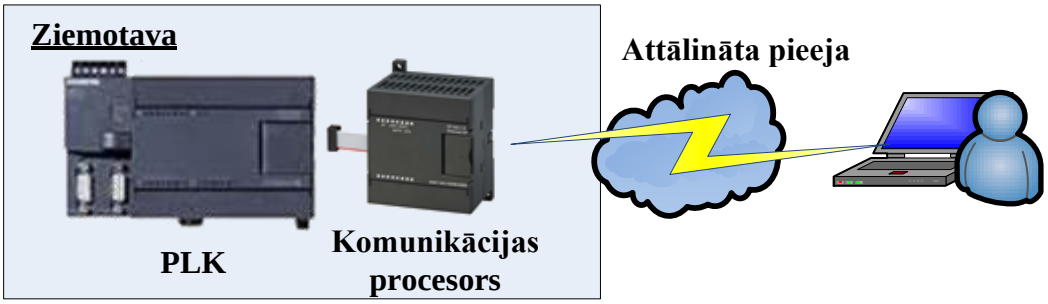
Ar šīs tehnoloģijas palīdzību var atrisināt vadības sistēmas loģiskās problēmas, mainīt vadības algoritmu, iedarbināt vai apturēt vadības sistēmu, bet, ja rodas kādas tehniskās sistēmas kļūdas, tad nevar iztikt bez fiziskas iejaukšanās uz vietas. Vienīgā prasība, lai izmantotu attālinātās pieejas iespējas ir Interneta pieslēgums un dators ar speciālo programmatūru. Šobrīd tirgū ir pieejamas vairākas programmas, attālinātās pieejas nodrošināšanai, piemēram, „*TeamViewer*", „*RAdmin*" un citas (skat. 3.2. tabulu). Bet pētījuma laikā autors ir izmantojis *Windows* piedāvātu funkcionalitāti un iebūvētu programmu ar nosaukumu „*Remote Desktop Connection*".

3.2. tabula. **Attālinātas pieejas programmatūras īss salīdzinājums**

Programmas nosaukums	Protokols	Datu šifrēšanas metode	Failu transfērs	Audio atbalsts
RealVNC	RFB(VNC)	-	-	-
UltraVNC	RFB(VNC)	-	X	-
Remote Administrator	Proprietary	AES-256	X	X
AnywhereTS	RDP, ICA	SSL, TLS	X	X
Bomgar	X11	SSL, AES-256	X	-
Citrix XenApp	RDP, ICA	SSl, TLS	X	X
FreeNX	NX, RDP	AES	X	X
GoToMyPC	Proprietary	AES-256	X	X
iTALC	RFB(VNC)	SSH	-	-
Mikogo	Proprietary	AES-256	X	-
Netviewer	Proprietary	AES-128	X	X
TeamViewer	Proprietary	AES-256	X	X
WebTrain	Proprietary	SSL, TLS	X	X

Windows Remote Desktop Connection lietošana neprasa no lietotāja padziļinātas IT zināšanas. Ir nepieciešams iedarbināt programmu (Start > Programs > Accessories > Remote Desktop Connection) un ievadīt mērķa datora IP adresi. Tad ir jāievada lietotāja vārds, parole un pieeja attālinātam datoram tiks nodrošināta.

Attālināto pieeju var izmantot arī pieslēgšanai pa tiešo pie vadības sistēmas. Lai to nodrošinātu, ir jālieto speciālais papildu kontrolleru informācijas tehnoloģijas bloks ar komunikācijas procesoru CP-IT (skat. 3.14. att.). Tad, pieslēdzot to pie Internet tīkla un piesaistot IP adresi, var apskatīties iepriekš ieprogrammēto informāciju.

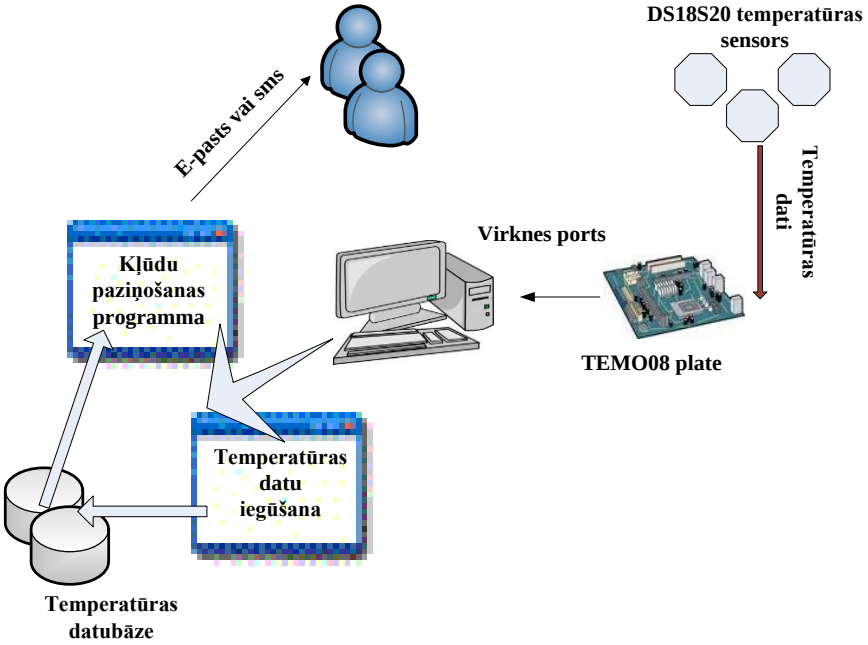


3.14. att. **Vadības sistēmas attālinātas pieejas konceptuālā shēma.**
Avots: Autora veidots attēls.

- **Avārijas situācijas izziņošana**

Avārijas situācijas izziņošanai ir izmantota e-pasta sūtīšanas iespēja. E-pasta ziņojumi ir nosūtīti atbildīgajai personai vai vairākām personām (biškopjiem) gadījumā, kad mērķa temperatūra bišu ziemotavā iziet no pieļaujamām definētām kritiskām robežām. Reālajā situācijā mērķa temperatūra, piemēram, ir +5°C un kritiskās robežas ir no +2°C līdz +8°C. Robežu pārsniegšanas gadījumā var veikt e-pasta vai sms paziņojumu sūtīšanu. Ir iespējams izmantot pašas vadības sistēmas risinājumu vai izstrādāt papildus informācijas sistēmu. Elektrības pārtraukuma gadījumā ziņojumu nosūtīšanu var nodrošinat *UPS* kā elektrības avots.

Papildu informācijas sistēmas realizācija ir šāda (skat. 3.15. att.):



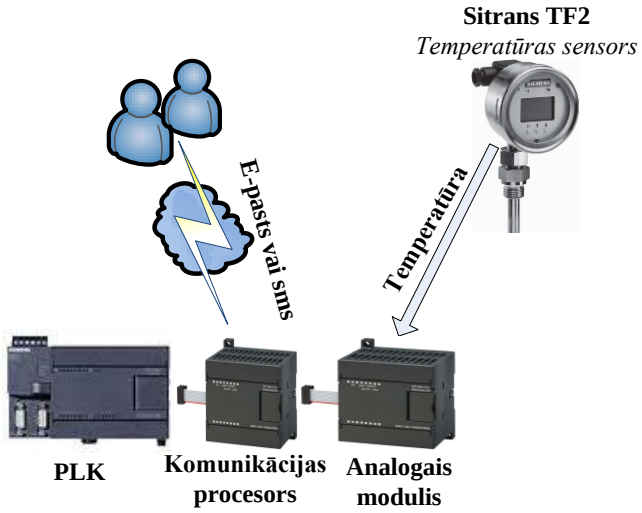
3.15. att. **Kļūdu paziņošanas sistēmas koncepcija.**
Avots: Autora pielāgots attēls no (Zacepins et al., 2010).

Ziemotavā ir izvietoti vairāki *DS18S20* temperatūras sensori, kuri ir pieslēgti *Temp08* platei, savukārt kura tieši ir pieslēgta datoram, izmantojot virknes portu (no angļu val. *COM port*). Lai nolasītu temperatūras informāciju no sensoriem, ir izveidota *C#* programma (Meitalovs et al., 2009). Programmas uzdevums ir nolasīt temperatūras datus un saglabāt tos temperatūras datubāzē. Tad, lai veiktu temperatūras datu pārbaudes atbilstību kritiskajām robežām un nepieciešamības gadījumā nosūtīt e-pastus,

ir izveidota vēl viena *C#* aplikācija, kura izmanto jau iepriekš saglabāto informāciju temperatūras datubāzē. Šī aplikācija ir konsoles tipa programma, kura tiek iedarbināta pēc iestatītā grafika, izmantojot *Windows* piedāvāto funkciju „*Scheduled Tasks*". Programmas daļa e-pasta sūtīšanai ir šāda:

```
SmtpClient SmtpMail;

SmtpMail = new SmtpClient("smtp.gmail.com", 587);

SmtpMail.EnableSsl = true;

SmtpMail.Credentials = new
System.Net.NetworkCredential("bishuziemotava@gmail.com", "xxxxxxxx");

if ( (tmpResult > 8 || tmpResult < 2) && tmpResult!=85)

{MailMessage message = new MailMessage("bishuziemotava@gmail.com",
"37126539560@bifri.lv", "Error", "Error");

SmtpMail.Send(message);

StreamWriter sw = new StreamWriter(filename);

sw.WriteLine("1");

sw.Close();
```

Vadības sistēmas risinājums, kurš var būt izstrādāts kļūdu paziņošanai ar e-pasta starpniecību, ir šāds (skat. 3.16. att.):



3.16. att. **Vadības sistēmas risinājums kļūdu paziņošanai.**
Avots: Autora veidots attēls.

Lai izmantotu e-pasta sūtīšanas iespēju pie PLK ir jāpieslēdz speciālais papildu komunikācijas procesors *CP-IT*, kuram ir informācijas tehnoloģijas funkcijas (skat. 3.17. att.). Temperatūras mērījumi uzreiz ir salīdzināti ar kritiskajām robežām un nepieciešamības gadījumā e-pasts ir nosūtīts atbildīgo personu grupai, izmantojot komunikācijas procesora funkcionalitāti.

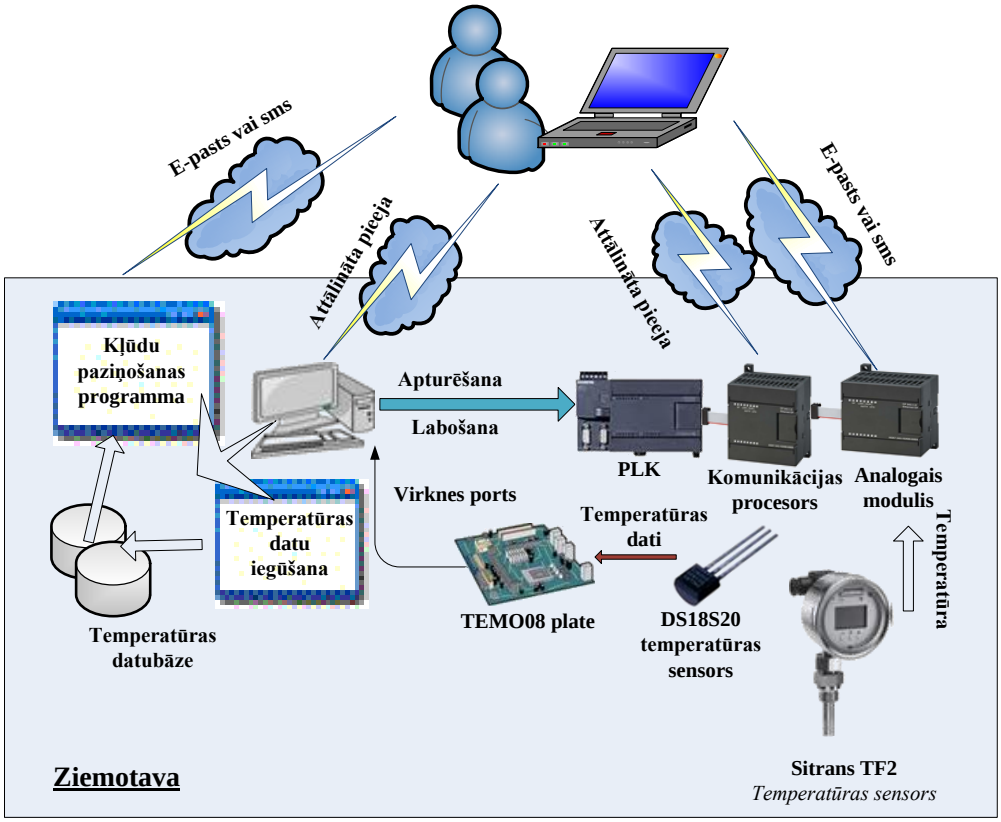
3.17. att. ***CP243-1* IT bloka frontālais skats ar *LED* indikāciju.**
Avots: http://www.siemens.com.

Lai lietotājs varētu izmantot *CP-IT* bloka funkcijas, ir nepieciešams bloku konfigurēt. Internet moduļa konfigurācijai ir izmantots interneta konfigurācijas veidnis (no angļu val. *Internet wizard*). Konfigurācijas procesu veido vairāki secīgi soļi:

- pirmais solis ir komunikācijas procesora moduļa pozīcijas adreses noteikšana;
- otrais solis ir *TCP/IP* adrešu uzstādīšana. Šī *IP* adrese ir nepieciešama, lai nodrošinātu pieeju serverim attālināti no pārlūkprogrammas. Adrese var tikt piešķirta automātiski, ja tiek izmantots *BOOTP* serveris. Vēl šajā konfigurēšanas etapā var izvēlēties, kāds komunikācijas tips tiks izmantots;
- trešais solis ir speciālā komandas baita un savienojumu skaita definēšana;
- ceturtais solis ir savienojuma tipa definēšana (klientu un/vai servera savienojumi);
- piektais solis ir *CRC* (cikliskās redundances pārbaude) opcijas aktivizēšana. Šī opcija nodrošina pārbaudi, vai Internet modulī netika pieļautas kādas sistēmas kļūdas;
- sestais solis ir administratora konta veidošana ar lietotāja vārdu un paroli;
- septītais solis ir IT servisu izvēle. Var izvēlēties 3 piedāvātos IT servisus, tas ir, e-pasta serveris, *FTP* serveris un *HTTP* serveris;
- astotais un pēdējais solis ir PLK atmiņas apgabala definēšana, kur tiks glabāta visa IT moduļa konfigurācija.

Pēc veiksmīgas moduļa konfigurācijas lietotājs, izmantojot jebkuru pārlūkprogrammu, ir spējīgs attālināti pieslēgties PLK sitēmai un veikt uzraudzības operācijas.

Apvienojot kopā iespējamos risinājumus, ir piedāvāta kompleksa un vienota kļūdu paziņošanas un tehnisko bojājumu minimizācijas sistēmas realizācija (skat. 3.18. att.):



3.18. att. **Kļūdu paziņošanas un tehnisko bojājumu sistēmas realizācija.** Avots: Autora veidots attēls.

3.2. Bišu saimes temperatūras mērīšanas sistēma

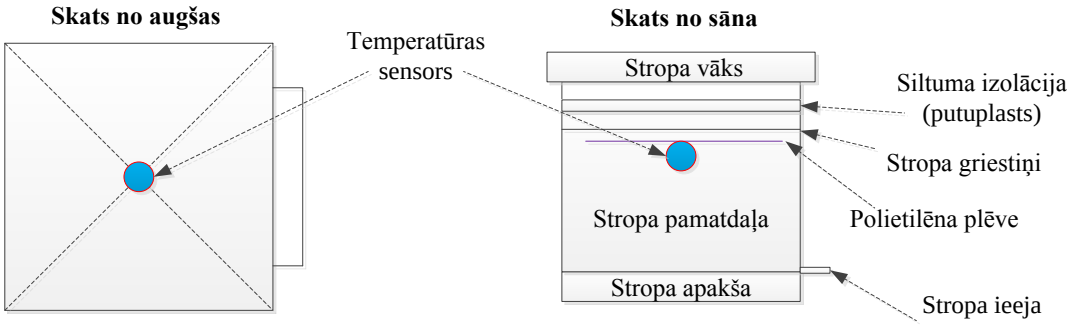
Bišu saimes ziemošanas laikā viens no svarīgākajiem aspektiem ir neļaut bišu saimei pāragri uzsākt perošanu, kas varētu izraisīt nevajadzīgu enerģijas patēriņu ziemas otrajā pusē, peru bojāeju nosalšanas dēļ vai pat saimes bojāeju. Perošana nozīmē, ka bišu saime sāk audzēt jaunas bites, kuras attīstās 21 dienas laikā (no oliņas iedēšanas līdz darba bites dzimšanai). Jaunu bišu audzēšanai ir ilgstoši jānodrošina +35°C temperatūra, kas izmaksā enerģētiski dārgi it īpaši zemās āra temperatūrās, kas var atgadīties ziemas otrā pusē.

Perošanas sākumu var noteikt ar bišu saimju temperatūras mērījumu palīdzību (Stalidzans, Berzonis, 2013). Praktiski bez temperatūras mērījumiem noteikt, vai bišu saime pero vai nē, var tikai ar tiešas apskates metodes palīdzību, atverot bišu stropu un vizuāli apskatot stropa rāmjus. Šī procedūra ir gandrīz neīstenojama, jo tādas darbības sekas ir traumējošas bišu kamolam ziemā un var novest pie saimes bojāejas.

Lai atklātu un ierobežotu vai apturētu bišu saimes perošanas procesu, ir nepieciešams novērot temperatūras izmaiņas bišu saimes stropā. Šis specifiskais precīzās biškopības uzdevums varētu būt izpildāms šādi: temperatūras kontroles mērījumu veikšanai ir nepieciešams izvietot nelielu temperatūras sensoru bišu stropā virs bišu saimes ligzdas (skat.

3.19. att. Temperatūras sensora izvietojums bišu stropā (shematiskais attēlojums).

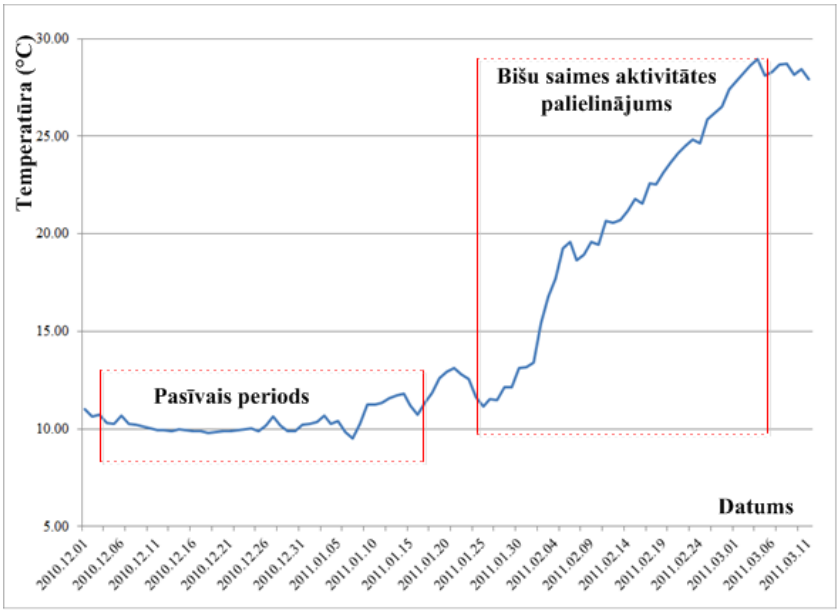
un 3.20. att.). Virs sensora paliek plēve, tad stropa griestiņi, tad 5 centimetru putuplasta pakojums un stropa vāks.



3.19. att. **Temperatūras sensora izvietojums bišu stropā (shematiskais attēlojums).**
Avots: Autora veidots attēls.

3.20. att. **Temperatūras sensora reālais izvietojums bišu stropā.**
Avots: Autora uzņemtais attēls.

Ar sensora palīdzību pastāvīgi tiek uzraudzīta temperatūras dinamika bišu saimē. Temperatūras paaugstinājums varētu liecināt par bišu saimes aktivitātes palielinājumu, kas potenciāli varētu būt saistīts ar bišu saimes perošanas procesu sākšanos (skat. 3.21. att.):



3.21. att. **Potenciālais bišu saimes aktivitātes palielinājums.**
Avots: Autora veidots attēls izmantojot eksperimentālos datus.

3.2.1. Sensoru tīkla arhitektūra

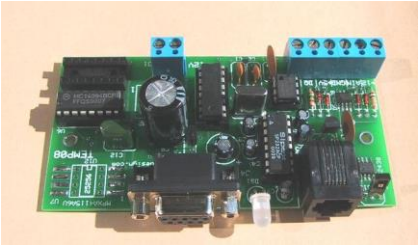
Bišu ziemotavā ir realizēta vadu temperatūras mērīšanas sistēma (vadu sensoru tīkls). Temperatūras mērījumiem ir izmantoti ds18s20 sensori (skat. 3.22. att.), kuri ir saslēgti vienotā tīklā, izmantojot 1-vada tīkla protokolu (no angļu val. *1-wire network*). Sensoru mērīšanas diapazons ir no -55°C līdz +125°C, ar precizitāti ±0.5°C. Izstrādātais sensoru tīkls (2010-2011 ziemas periodā) veidots no 34 sensoriem, no kuriem 30 sensori mērīja temperatūru bišu saimēs un bija ievietoti bišu stropā, 2 sensori mērīja ziemotavas gaisa temperatūru un 2 sensori mērīja āra gaisa temperatūru. 2011-2012 ziemas periodā temperatūras mērīšanas sistēmas veidoja 20 sensori stropos un 2 sensori iekšējai ziemotavas gaisa temperatūrai, ka arī 1 sensors gaisa ārējai temperatūrai.

3.22. att. **Temperatūras sensors *ds18s20*.**
Avots: http://www.maxim-ic.com/datasheet/index.mvp/id/2815.

Šie digitālie sensori bija pielodēti pie mazās tekstolīta plates, nodrošinot savienojumu ar vadiem (skat. 3.23. att.):

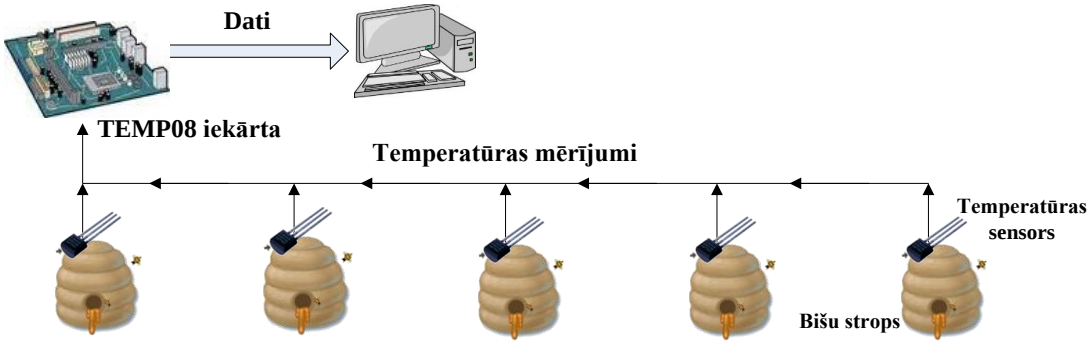
3.23. att. **Temperatūras sensora reālais izpildījums.**
Avots: Autora uzņemtais attēls.

Sensoru tīkla komunikācijai ar datoru, datu saglabāšanai un apstrādei, ir izmantota papildus tehniskā iekārta *Temp08* (skat. 3.24. att.). *Temp08* iekārta pārraida temperatūras datus (mērījumus) gala iekārtai vai datoram.



3.24. att. **Virknes 1-vadu interfeiss *Temp08*.**
Avots: http://www.midondesign.com/TEMP08/TEMP08.html.

Shematiski izveidoto temperatūras sensoru tīklu var attēlot šādi (skat. 3.25. att.):



3.25. att. **Bišu saimes temperatūras sensoru tīkla realizācija.**
Avots: Autora pielāgots attēls no (Zacepins et al., 2011).

Tā kā eksperimentu un mērījumus ir iespējams veikt tikai ziemā, papildus rezultātu drošībai ziemotavā tika izmantota arī rezerves temperatūras mērīšanas sistēma (skat. 3.26. att.). Sistēmas izstrādātāji ir V. Osadčuks un A. Pecka, un tā ir balstīta uz speciālās iegultas iekārtas, pie kuras ir iespējams pieslēgt līdz 20 sensoru. Šajā gadījumā tika izmantoti sensori *Tsic506* un *Tsic306*. Iekārta komunicē ar datoru, izmantojot *Bluetooth* komunikācijas protokolu.

3.26. att. **Rezerves temperatūras mērīšanas iekārta ar pieslēgtiem sensoriem.**
Avots: Autora uzņemtais attēls.

Datorā ir nepieciešams lietot speciālo aplikāciju mērījumu atspoguļošanai un saglabāšanai *POSTGRE SQL* datu bāzē.

Bišu ziemotava ar izstrādātu temperatūras sensoru tīklu un iekšā bišu stropiem ir demonstrēta 3.27. att.:

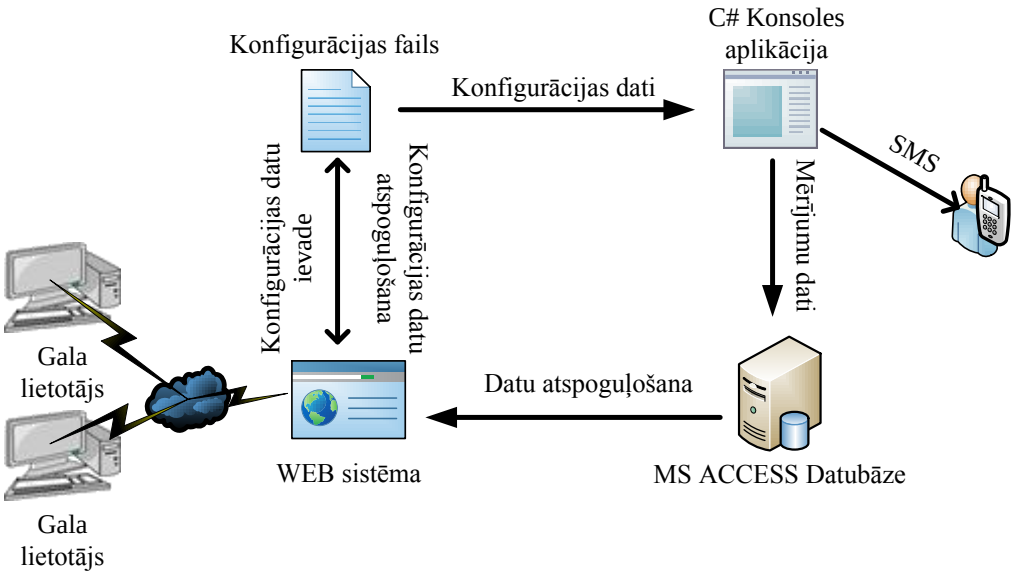
3.27. att. **Bišu ziemotava ar temperatūras mērīšanas sistēmu (A: 2010-2011 ziemas periods; B: 2011-2012 ziemas periods).**
Avots: Autora uzņemtais attēls.

Galvenais uzlabojums 2011-2012 ziemas periodā bija vadu stiprināšana pie griestiem, kas būtiski atviegloja papildu bišu stropu svēršanas eksperimentu un arī ļāva netraucēti veikt bišu saimes vizuālo pārbaudi.

3.2.2. Temperatūras mērījumu nolasīšanas process

Temperatūras mērījumu nolasīšanai un datu saglabāšanai ir nepieciešams izstrādāt informācijas sistēmu jeb datora programmu, ar kuras palīdzību ir izpildītas pieminētās darbības. Promocijas darba autors sākumā izmantoja *C#* izveidotu programmu, kuru izstrādāja J. Meitalovs (Meitalovs et al., 2009).

Programmas lietošanas gaitā ir konstatētas vairākas nepilnības un daži trūkumi. Svarīgākais ir nepamatoti liels datora resursu patēriņš, ko var izskaidrot ar to, ka programma visu laika ir aktīva un patērē datora operatīvo atmiņu. Kā arī programmā netika iestrādāta kļūdu paziņošanas opcija, un netika realizēta tīmeklī bāzēta, attālināta pieeja datiem. Tāpēc promocijas darba autors nolēma izstrādāt savu programmas komplektu temperatūras datu nolasīšanai, saglabāšanai un attālinātai datu pieejai. Par pamatu tika ņemta J. Meitalova izstrādātā programmas koncepcija, bet tā tika būtiski modificēta. Jaunā programma ir izstrādāta sadarbība ar ITF DSK praktikantu T. Karašu. Programmas koncepcija ir atspoguļota 3.28. att.:



3.28. att. **Bišu saimes temperatūras mērīšanas programmatūras konceptuālā shēma.**
Avots: Autora pielāgots attēls no (Zacepins, Karasha, 2012).

Izstrādātā programmatūra dalāma trīs atsevišķās daļās:

1. *Konfigurācijas fails* – tas ir *.txt* fails, kur ir definētas vērtības galvenajiem parametriem, kas ir nepieciešami *c#* konsoles aplikācijas darbībai. Parametri ir šādi:
   - virknes porta numurs – datora virknes porta inicializācija, lai varētu atpazīt *TEMP08* iekārtu datu transfēram;
   - laika aizture – laiks sekundēs, kas ir nepieciešams, lai veiktu datu pārsūtīšanas procedūru;
   - bitu skaits – pilns bitu skaits, kas ir pārsūtīts;
   - sensora seriālais numurs – kāda viena konkrēta sensora definēšana kļūdu paziņošanas operācijai;
   - maksimālā temperatūras vērtība – sensora maksimālās temperatūras definēšana. Kad reālā vērtība pārsniedz definēto, tad kļūdu paziņojums ir automātiski nosūtīts atbildīgajai personai;
   - minimālā temperatūras vērtība - sensora minimālās temperatūras definēšana. Kad reālā vērtība ir mazāka par definēto, tad kļūdu paziņojums ir automātiski nosūtīts atbildīgajai personai;
   - e-pasta adrese – adrese, kur tiek nosūtīts kļūdu paziņojums;
   - rezerves kopija – failu ceļš, kur ir nepieciešams nokopēt mērījumu datubāzi.
2. *Temperatūras datubāze*

Autors ir izveidojis *MS Access* datubāzi. Datubāze ir nepieciešama, lai tur saglabātu visus temperatūras mērījumus vairākos laika momentos. Datubāzi veido divas tabulas. Vienā tabulā ir saglabāti sensoru numuri un to identifikācijas kodi (skat. 3.3. tabulu):

3.3. tabula. **Datubāzes tabulas „Sensori" struktūra**

Lauka nosaukums	Datu tips	Paskaidrojums
Sensors	Text	Sensora numurs
id	Number	Sensora identifikācijas numurs

Otrajā tabulā ir saglabāti visi temperatūras mērījumi (skat. 3.4. tabulu):

3.4. tabula. **Datubāzes tabulas „Mērījumi" struktūra**

Lauka nosaukums	Datu tips	Paskaidrojums
Id_nolasijums	AutoNumber	Mērījuma unikālais identifikācijas numurs
Datums	Date/Time	Mērījuma laiks
Sensora_id	Number	Sensors, no kura tiek nolasīts mērījums
Temperatura	Number	Mērījuma vērtība

3. *Konsoles aplikācija*

Izstrādātā *C#* konsoles aplikācija izpilda datu saglabāšanas funkciju un kļūdu paziņošanas procedūru.

Konsoles aplikācija tiek iedarbināta periodiski, balstoties uz *Windows Task Scheduler* iestātījumu. Pēc iedarbināšanas tiek nolasīti visi temperatūras mērījumi no visiem pieslēgtajiem sensoriem. Lai nolasītu datus no visiem devējiem, ir jāizveido pieprasījuma komanda komunikācijas iekārtai *Temp08*, izmantojot virknes portu. Lai to izdarītu - ir jāatver virknes portu komunikācijas režīmā un jānosūta tam pieprasījums:

```
serialPort.Open();
```

```
serialPort.WriteLine("TMP");
```

„*TMP*" vadības komanda pieprasa komunikācijas iekārtai nosūtīt datoram mērījumus no visām 1-vada tīklā saslēgtajam ierīcēm (sensoriem). *Temp08* aptaujā visus devējus, kuri atrodas 1-vada tīklā un pārsūta saņemto informāciju datoram teksta veidā. Lai šos datus tālāk varētu apstrādāt, teksts ir jāsadala daļās, atsevišķi saglabājot devēja kodu un mērījuma rezultātu.

Darbs ar datiem notiek, izmantojot *SQL* valodas pamatkomandas: *insert, select* un *update*.

- **Papildu programmas funkcionalitāte**

Viens no nepieciešamajiem papildu moduļiem ir kļūdu paziņošanas modulis. Kad bišu stropā temperatūra pārsniedz kritisko temperatūras robežu (piem., +34°C), e-pasts tiek automātiski izsūtīts uz norādītajām adresēm.

Vēl viena nepieciešamā funkcija ir mērījumu datubāzes rezerves kopēšana uz citu datoru vai tā saukto skaitļošanas centru tālākai datu analizēšanai. Kopēšana ir realizēta ar konsoles aplikāciju (var izmanot arī *.bat* failu) un ftp servisu. Autora datubāze tiek kopēta divas reizes dienā ar *Windows Task Scheduler* palīdzību.

Izveidotās konsoles aplikācijas realizācija ir šāda:

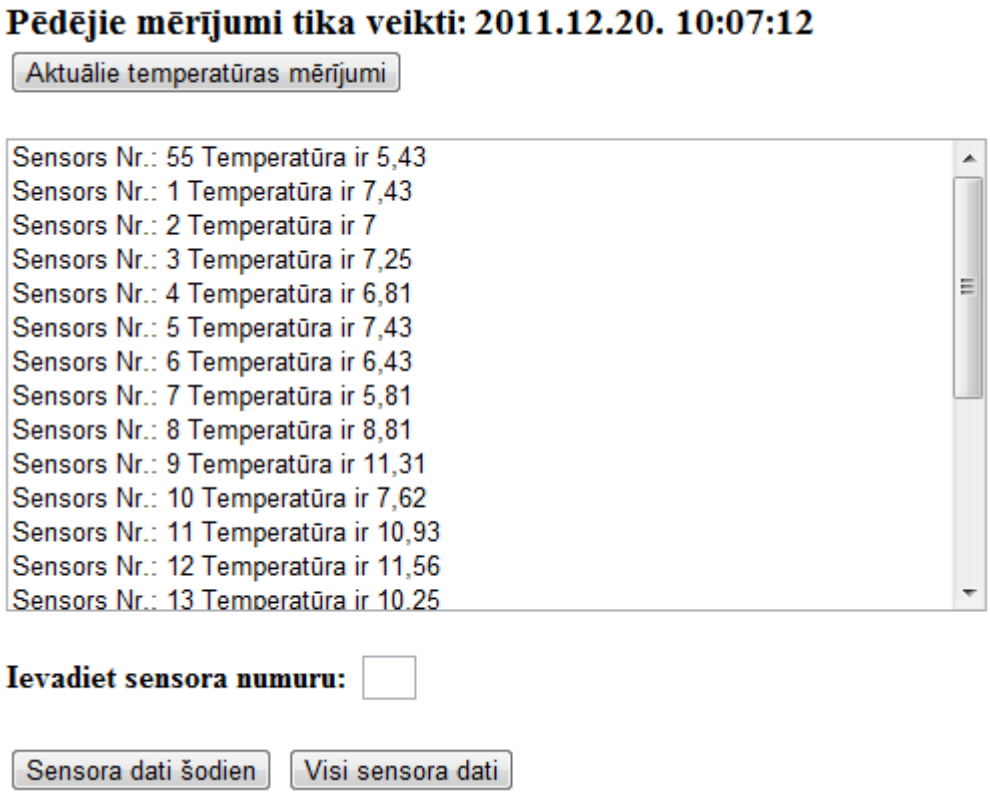
```
namespace CopyDataBase
{ class Program
    { static string src;
        static string dest;
        static void Main(string[] args)
        { src = @"D:\TSN_data\BeeSystem.mdb";
            dest = @"D:\My Dropbox\BisuZiemotava\BeeSystem.mdb";
            File.Copy(src, dest, true);
        } } }
```

3.2.3. Temperatūras mērījumu tīmekļa saskarne

Biškopim ir nepieciešama pastāvīga iespēja kontrolēt un uzraudzīt situāciju bišu stropos. Viens no iespējamajiem risinājumiem ir izstrādāt tīmekļa saskarni temperatūras mērījumiem. Tas ļaus jebkurā laika brīdī paskatīties aktuālo temperatūru un arī veikt citas vienkāršas operācijas ar vēstures datiem. Biškopim jābūt pieejamam tikai Internetam un datoram. Ir iespējams arī izstrādāt iespēju redzēt temperatūras informāciju, izmantojot parastu mobilo telefonu. Tā kā biškopim nav nepieciešamas padziļinātas IT zināšanas un ir iespēja, ka viņš nav visai pieredzējis datora lietotājs, tīmekļa sistēmai ir jābūt pēc iespējas vienkāršākai un lietotājam draudzīgākai. Promocijas darba ietvaros sākumā tika izstrādāts tīmekļa sistēmas prototips ar samazinātu funkcionalitāti ar mērķi biškopjiem demonstrēt tikai pamatiespējas (skat. 3.29. att.):

Lietojot šo tīmekļa sistēmu, ir iespēja aplūkot pēdējos temperatūras mērījumus, apskatīties temperatūras datus par konkrētu sensoru, par pašreizējo dienu vai pilnīgi visus izvēlētā devēja iepriekšējos datus.

Attīstoties darbam, tika secināts, ka ir nepieciešams papildināt tīmekļa sistēmu ar papildu funkcionalitāti.



3.29. att. **Tīmekļa sistēmas prototips.**
Avots: Autora uzņemtais ekrāna attēls.

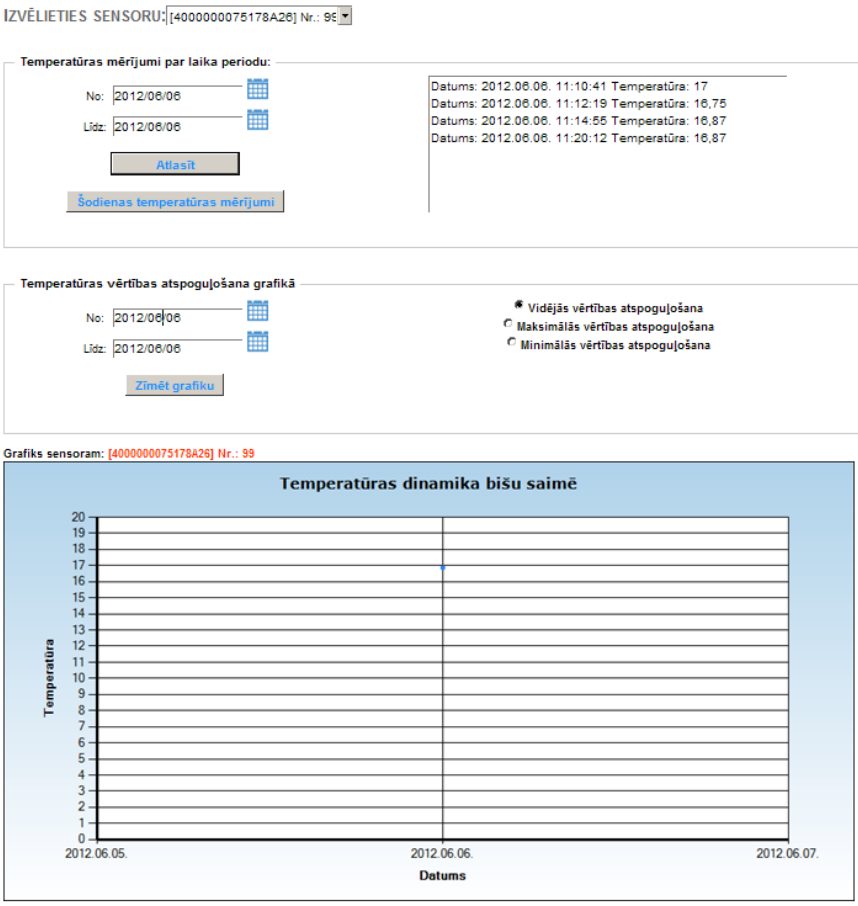
Jaunās prasības pret tīmekļa saskarni ir šādas: tam ir jābūt ar trim sadaļām un ar lietotāju autentifikācijas mehānismu, lai nebūtu iespējas pilnīgi visiem piekļūt sistēmas svarīgiem uzstādījumiem.

Galvenajā logā ir jābūt atspoguļotai reālā laika aktuālai informācijai par visiem temperatūras sensoriem (skat. 3.30. att.).

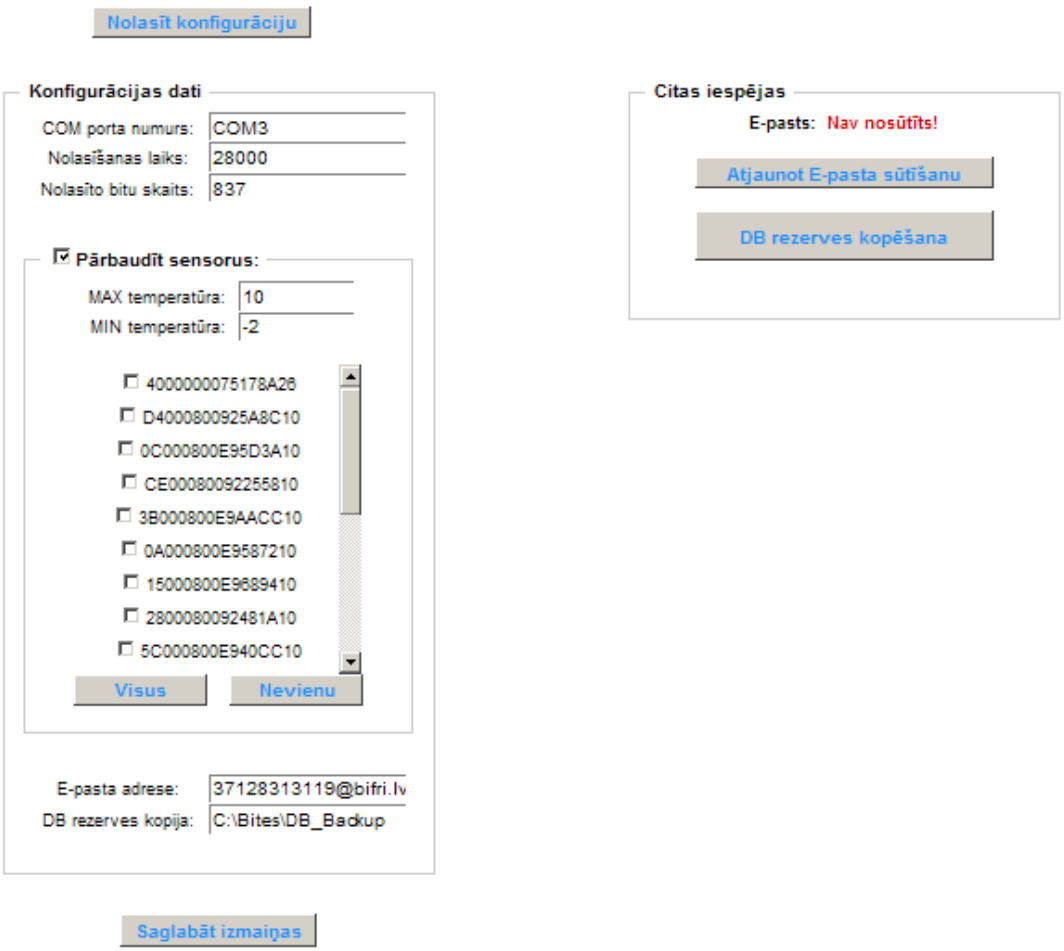
Sadaļā „Visi temperatūras mērījumi" ir jābūt iespējai ģenerēt dažāda veida grafikus un apskatīties apkopoto informāciju par veiktajiem mērījumiem (skat. 3.31. att.).

Sadaļā „Sistēmas konfigurācija" ir jābūt iespējai definēt vairākus sistēmas uzstādījumus (skat. 3.32. att.). Lai piekļūtu šīs sadaļas informācijai, ir jānodrošina lietotāja vārda un paroles ievadīšana.

3.30. att. **Tīmekļa saskarnes logs ar temperatūras mērījumiem.**
Avots: Autora uzņemtais ekrāna attēls.



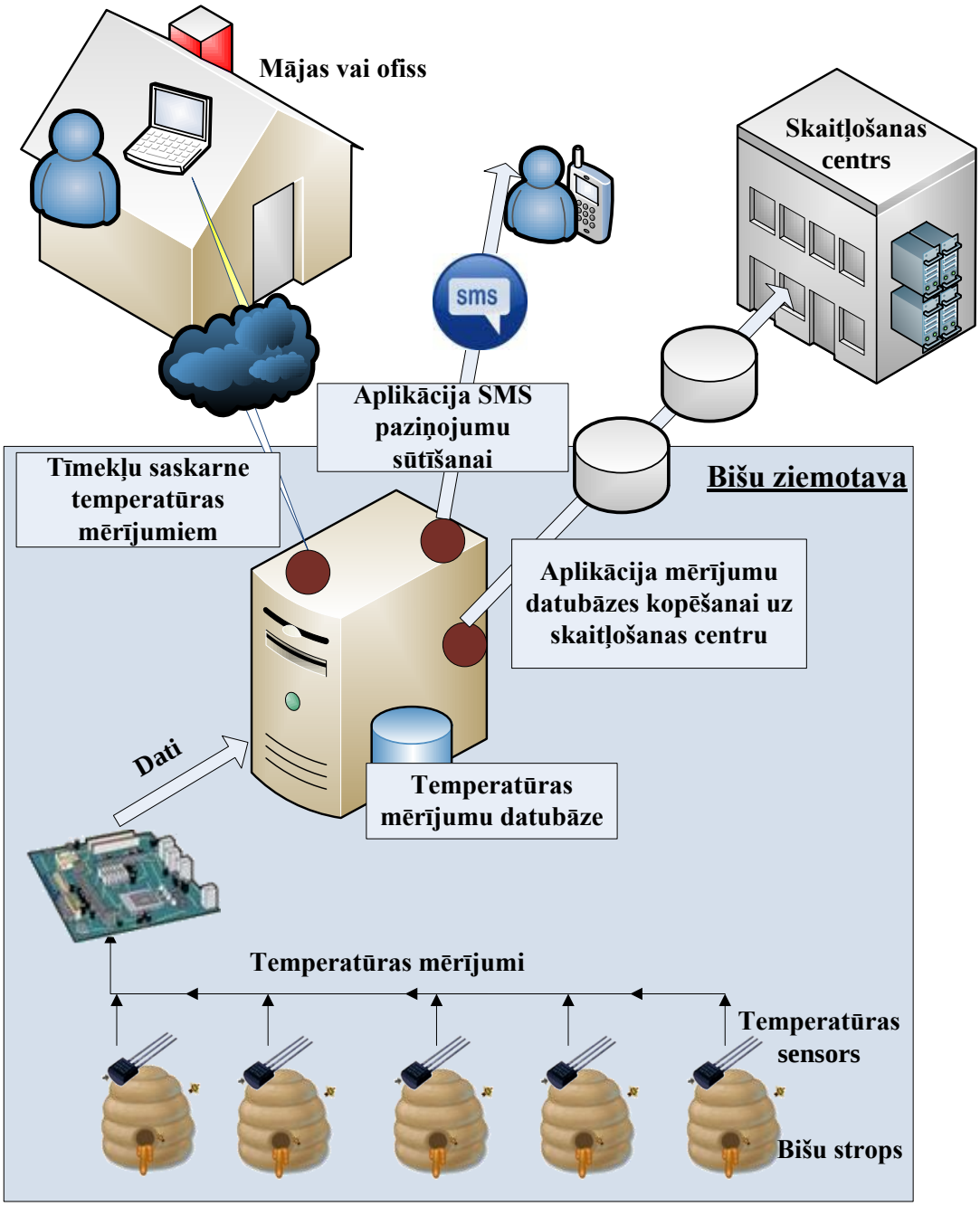
3.31. att. **Tīmekļa saskarnes logs ar atskaitēm.**
Avots: Autora uzņemtais ekrāna attēls.



3.32. att. **Tīmekļa saskarnes logs ar sistēmas uzstādījumiem.**
Avots: Autora uzņemtais ekrāna attēls.

Tīmekļa sistēma ir izstrādāta, izmantojot *ASP.NET* tehnoloģiju, un, lai to sistēmu nodotu publiskajā lietošanā, ir nepieciešams konfigurēt tīmekļa serveri. Šodien ir iespējams izmantot vairākus variantus, bet darba autors lietoja iebūvētu Windows Internet Informācijas Servisu (no angļu val. *Internet Information Service (IIS)*), ar kura palīdzību tīmekļa sistēmai ir iespējams pieslēgties no ārpuses.

Izstrādātā kopējā bišu saimes temperatūras mērīšanas sistēmas struktūra ir demonstrēta 3.33. att.:



3.33. att. **Bišu saimju temperatūras mērīšanas kopējā sistēmas struktūra.** Avots: Autora pielāgots attēls no (Zacepins et al., 2011).

3.3. Temperatūras mērījumu apkopošanas un analizēšanas rīks

Kā jau tika minēts, visi mērīšanas rezultāti tiek saglabāti *MS Access* datubāzē, kura tiek periodiski pārkopēta uz tā saucamo skaitļošanas centru, lai ieinteresētajām personām būtu iespēja apkopot un analizēt datus.

Ērtākai datu analīzei visi mērījumi tiek atspoguļoti *MS Excel* programmā, izveidojot savienojumu ar mērījumu datubāzi. Lai izveidotu savienojumu ar *MS Access* datubāzi, izmantojot 2007 versijas *Excel* programmu, ir nepieciešams izvēlēties izvēlni „*Data*" un atrast pogu „*From Access*".

Nākamajā solī ir jāizvēlas vajadzīgā datubāze un datubāzes tabula, no kuras ņemt datus. Gala rezultātā *Excel* programmā tiks atspoguļota vajadzīgā informācija, ar kuru tālāk var veikt analīzes darbus (skat. 3.34. att.):

	A	B	C	D
1	ID_Reading	Reading_Date	Result	Sensor_Number
2	40195	2010.12.06	18.62	15
3	40196	2010.12.06	9.25	16
4	40197	2010.12.06	13.12	17
5	40198	2010.12.06	8.25	18
6	40199	2010.12.06	12.68	19
7	40200	2010.12.06	9.62	20
8	40201	2010.12.06	14.18	21
9	40202	2010.12.06	11.43	22
10	40203	2010.12.06	10.87	23

3.34. att. **Iegūtie dati no datubāzes.**

Avots: Autora uzņemtais ekrāna attēls.

Lai pārskatāmāk atspoguļotu datus, ir iespējams lietot „*Pivot*" tabulas un „*Pivot*" grafikus, ar kuru palīdzību var datus sagrupēt nepieciešamajā griezumā, piemēram, atlasīt devēja maksimālās vai minimālās vērtības par katru dienu utt. „*Pivot*" elementi atrodas izvēlnē „*Insert*".

Rezultātā nepieciešamie dati ir sagrupēti, un lietotājam ir iespēja ērti ar tiem strādāt. Piemēram, ir iespējams apskatīties devēja vidējās vērtības pēc izvēlētās dienas un devēja numura (skat. 3.35. att.):

1	Vidēja vērtība	Sensora numurs					
2	Datums	2	6	12	13	14	Grand Total
3	2011.01.01	8.52	8.61	6.35	9.59	8.54	8.32
4	2011.01.10	10.37	11.73	7.70	10.96	10.36	10.22
5	2011.01.11	10.02	12.10	7.45	10.81	9.65	10.01
6	2011.01.12	9.87	10.56	7.58	10.52	9.37	9.58
7	2011.01.13	10.13	10.56	7.61	11.03	9.87	9.84
8	2011.01.14	10.26	10.04	7.40	11.17	8.92	9.56
9	2011.01.15	10.19	10.42	7.06	11.24	8.74	9.53
10	2011.01.16	8.65	9.15	5.67	11.07	6.66	8.24
11	2011.01.17	10.57	12.12	8.40	10.87	9.31	10.25

3.35. att. ***Pivot* tabulas piemērs.**

Avots: Autora uzņemtais ekrāna attēls.

3.4. Papildu datu iegūšana un analīze

Bišu ziemošanas laikā, kā arī citu bioprocesu norises laikā, dažreiz ir būtiski ņemt vērā papildu ārējo informāciju vai ekspertu zināšanas. Bišu gadījumā ir svarīgi ņemt vērā tādus ārējos datus kā laika prognoze, jo, pieņemot lēmumu par bišu ziemošanas beigām, ir būtiski zināt, vai netiek gaidīta temperatūras pazemināšanās un/vai lielas temperatūras svārstības.

Vēl viens būtiskais papildu datu piemērs ir bišu stropa masas izmaiņas. Autors savā pētījumā ir veicis arī ziemojošo saimju eksperimentālo svēršanu 2011./2012. ziemināšanas periodā. Pēc masas izmaiņām var spriest par saimes veselības stāvokli un perošanas intensitāti (detalizēti par svēršanas eksperimenta rezultātiem skat. 4.6. nodaļā).

3.5. Dažādu dimensiju modeļu lietojums bišu ziemošanas procesa laikā

Lēmuma pieņemšanu par bioloģisko objektu stāvokli autors balstīja uz vairākiem dažādu dimensiju modeļiem, kad reāli iegūtie dati ir salīdzināti ar jau iepriekš izstrādātiem modeļiem.

Bišu ziemošanas laikā ir iespējams operēt ar abiem modeļu tipiem (kvalitatīvie un kvantitatīvie). Galvenokārt modeļi ir izmantoti, lai precīzi paredzētu bioloģiskās sistēmas stāvokli, to aktivitāti, noteiktu, kādā attīstības posmā atrodas bioloģiskā sistēma.

Tālākajā modeļu izklāstā ir minēti modeļu tipi un to sadarbība, kamēr konkrēti skaitļi ir nosakāmi plašā eksperimentālā darbā dažādos klimatiskajos apstākļos un ar dažādu bišu ģenētisko materiālu. Konkrētās vērtības iespaido arī biškopja izvēlētās saimju kopšanas tehnoloģijas un laika apstākļi. Šādi eksperimenti attiecas uz lauksaimniecības nozari un nav paredzēti šī promocijas darba ietvaros. Promocijas darba mērķis ir izstrādāt modeļu pielietošanas ietvaru.

Neskatoties uz minētajām atrunām, modeļu sadarbība var sniegt ievērojamu ekonomisko efektu.

3.5.1. Bišu saimes lieluma dinamikas modelis

Latvijas Lauksaimniecības universitātes ITF students I. Dirvēns bakalaura darba ietvaros ir izstrādājis datorprogrammu, kas balstīta uz E. Stalidzāna un A. Bērzoņa publicēto modeli (Stalidzans, Berzonis, 1999), ar kuru var veselam gadam prognozēt bišu saimes lieluma dinamiku.

Bišu saimes fizioloģiskās attīstības uzraudzība, novērtēšana un prognozēšana ir nepieciešama biškopjiem tādēļ, lai varētu veikt bišu saimes attīstības analīzi un prognozi atkarībā no bišu mātes dējības un citiem parametriem. Modeļa pielietojums varētu uzlabot darbu plānošanu, kas savukārt ļautu palielināt bišu saimes produktivitāti (Dirvens, 2011).

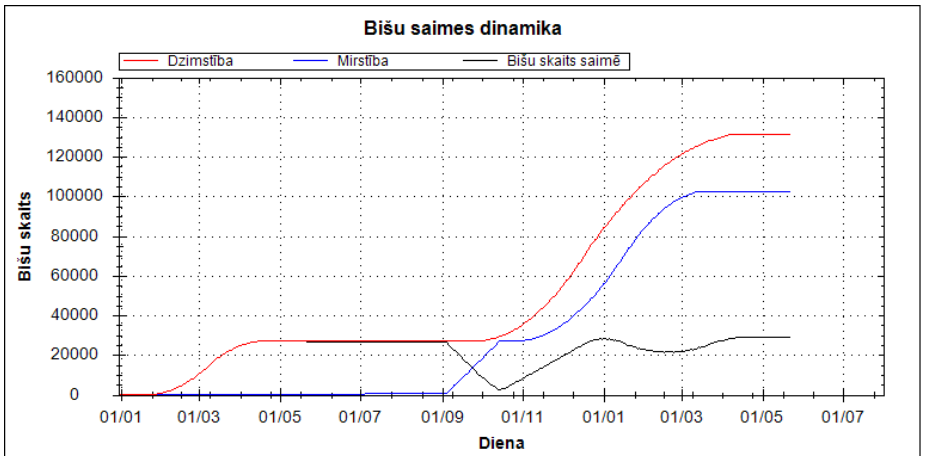
Bišu saimes attīstība mainās laikā, kas liecina par to, ka bites dzīves cikls ir dinamisks. Bišu saimes dinamisko attīstību ir iespējams attēlot modeļu veidā, kas varētu sniegt vizuālu priekšstatu par bišu saimes attīstību noteiktā periodā un bišu saimes lieluma izmaiņām (Stalidzans, Berzonis, 1999).

Bišu saimes lieluma dinamikas modelī ir jāņem vērā gan bišu fizioloģiskie, gan bioloģiskie faktori (skat. 3.5. tabulu), kas ļauj rast vienkāršotu kopskatu par bišu saimē notiekošajiem procesiem, izskaidrojot notikušo un prognozējot bišu saimes tālāko attīstību. Svarīgākais modeli ietekmējošais faktors ir prognozētā bišu mātes maksimālā dējība, kas ir atkarīga no daudziem parametriem, bet zinot bišu mātes rasi, tās vecumu un ņemot vērā konkrētā biškopja iepriekšējo gadu pieredzi šo skaitli ir iespējams pietiekoši labi prognozēt, lai plānotu vēlamo perošanas uzsākšanas laiku ziemā (Dirvens, 2011; Stalidzans, Berzonis, 1999).

3.5. tabula. **Pieņemtie neatkarīgo un atkarīgo ieejas parametru apzīmējumi un to iespējamās vērtības Latvijas apstākļos** (Stalidzans, Berzonis, 1999)

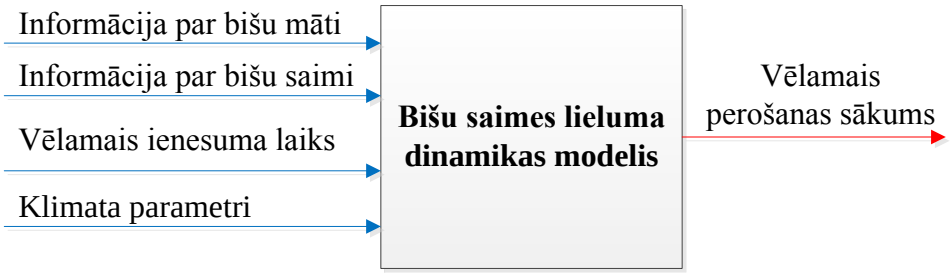
Nr.	**Apz.**	**Raksturojums**	**Vērtību iespējamais intervāls vai aprēķina veids**
Neatkarīgie ieejas parametri.			
1.	t_0	Diena, kad tiek izdēta pirmā ola ziemojošo bišu audzēšanai	26.06.-06.07. 1. gads
2.	t_2	Olu dēšanas beigas pirmajā gadā	24.09.-04.10. 1. gads
3.	t_3	Olu dēšanas sākums ziemā, kamola apstākļos	24.11.-06.12. 1. gads
4.	t_4	Intensīvas olu dēšanas sākums pavasarī	01.03.-15.04. 2. gads
5.	t_5	Intensīvas olu dēšanas maksimums vasarā (pie n_3)	24.09.-04.10. 2. gads
6.	t_6	Diena, kad tiek izdēta pirmā ola ziemojošo bišu audzēšanai	26.06.-06.07. 2. gads
7.	t_8	Dēšanas beigas rudenī	26.09.-06.10. 2. gads
8.	n_1	Ziemojošo bišu audzēšanai izdēto olu maksimums	600-1000 olu dienā; 1.gads
9.	n_2	Kamolā izdēto olu maksimālais skaits (pie t_4)	0-300 olu dienā
10.	n_3	Vasarā izdēto olu maksimālais skaits (pie t_5)	1000-2000 olu dienā; 2. gads
11.	t_b	Ziemojušo bišu bojā ejas periods	40-60 dienas; 2. gads
12.	t_v	Vidējais bišu mūža ilgums vasarā	30-40 dienas; 2. gads
13.	a	Vidējais bišu kritums ziemā	5-15 bites dienā
Atkarīgie ieejas parametri			
1.	t_1	Olu dēšanas ziemojošām bitēm maksimums (n_1)	$t_1=(t_2-t_0)/2$, 1. g.
2.	t_7	Olu dēšanas ziemojošām bitēm maksimums	$t_7=(t_8-t_6)/2$, 2. g.
3.	t_9	Ziemojošo bišu bojā ejas sākums ziemošanas periodā	$t_9=t_2+21$;
4.	t_{10}	Ziemojošu bišu intensīvas bojā ejas sākums	$t_{10}=t_4+t_n$;
5.	t_{11}	Ziemojošu bišu intensīvas bojā ejas beigas	$t_{11}=t_{10}+t_b$;
6.	t_{12}	Vasaras bišu krituma sākums	$t_{12}=t_4+21+t_v$;
7.	t_{13}	Maksimālais bišu kritums vasarā	$t_{13}=t_5+21+t_v$;
8.	t_{15}	Vasaras bišu krituma beigas	$t_{15}=t_{14}+(t_{16}-t_{14})/2$;
9.	t_{16}	Šķietamās vasaras bišu krituma beigas	$t_{16}=t_8+21+t_v$;
10.	t_{14}	Ziemojošo bišu uzkrāšanas sākums	$t_{14}=t_0+21+t_v$;
11.	n_0	Mātes dējība brīdī, kad izdēta pirmā ola ziemojošo bišu audzēšanai	$n_0=n_1/2t_1+n_2/2(t_4-t_3)]-a(t_{10}-t_9)$;
12.	N_0	Bišu skaits pavasarī (momentā t_{10})	$N_0=n_1/2t_2+n_2/2(t_4-t_3)-a(t_{10}-t_9)$;
13.	b	Vidējais ziemojušo bišu kritums intensīvas bojā ejas periodā.	$b= N_0/ t_b$;

Modelis nosaka bišu skaitu aprēķinot bišu mirstību (Stalidzans, Berzonis, 1994) un dzimstību, kam tiek izmantoti bišu saimi raksturojošie parametri, kuru iespējamās vērtības tiek izvēlētas atbilstoši Latvijas klimatiskajiem apstākļiem (skat. 3.36. att.). Piedzimušo bišu kopskaitu katrai dienai, kā arī nomirušo bišu skaitu konkrētai dienai aprēķina pēc formulām, kuras veido no atkarīgajiem un neatkarīgajiem ieejas parametriem (Dirvens, 2011).



3.36. att. **Bišu saimes dinamikas attēlojums.**
Avots: (Dirvens, 2011).

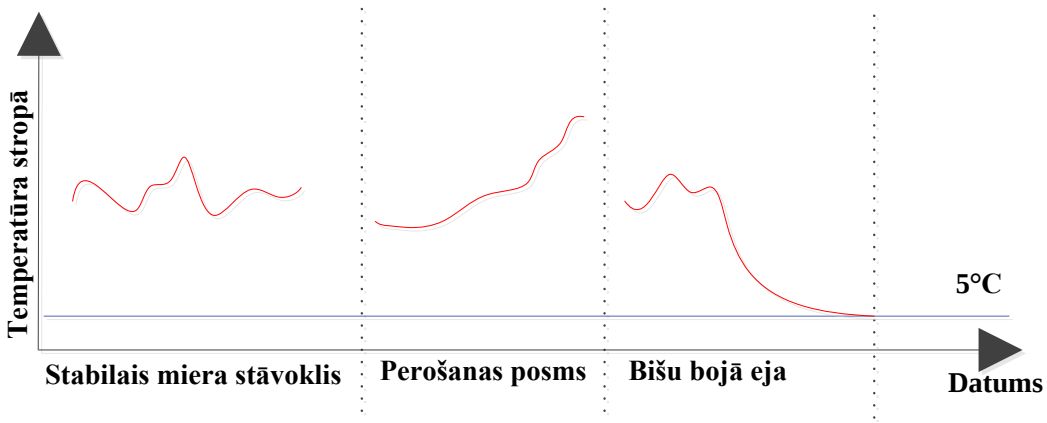
Pielietojot modeli ziemošanas vadībai, modeļa ieejas dati ir informācija par bišu mātes un bišu saimes īpatnībām, klimata ietekmētajiem bišu attīstības parametriem un konkrētā vēlamā ienesuma laiks, un kā izejas dati ir vēlamais perošanas sākuma datums ziemā (skat. 3.37. att.):



3.37. att. **Bišu saimes lieluma dinamikas modelis.**
Avots: Autora veidots attēls.

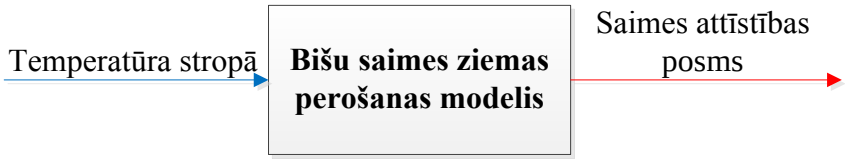
3.5.2. Bišu saimes ziemas perošanas modelis

Bišu saimes ziemošanas laikā kvalitatīvais bišu saimes perošanas modelis ir lietojams, lai atkarībā no bišu saimes temperatūras izmaiņām noteiktu bišu saimes attīstības posmu. Teorētiski ir iespējami trīs bišu saimes stāvokļi, pieņemot, ka ārējā gaisa temperatūra ir stabila un ir +5°C (skat. 3.38. att.):



3.38. att. **Bišu saimes perošanas kvalitatīva modeļa shematiskais attēlojums.**
Avots: Autora veidots attēls.

Modeli var lietot visu bišu saimes ziemošanas periodu. Modeļa ieejas dati ir iekšējā temperatūra bišu saimē, bet kā izejas dati ir informācija par bišu saimes aktivitāti un attīstības posmu (3.39. att.):



3.39. att. **Bišu saimes ziemas perošanas modelis.**
Avots: Autora veidots attēls.

Izmantojot šo modeli, galvenokārt ir jāvērtē temperatūras dinamika bišu saimē, nevis jāskatās uz temperatūras konkrēto vērtību (Stalidzans, Berzonis, 2013), jo iespējama situācija, kad viena un tā pati vērtība piemēram +12°C, vienai saimei norāda uz perošanas procesu, bet citai saimei atbilst pasīvajam periodam.

Pēc praktisku eksperimentu veikšanas bišu ziemotavā un datu analīzes darba autors ir atklājis sakarības starp bišu saimes nedēļas vidējo temperatūru un bišu saimes attīstības posmu, ņemot vērā, ka gaisa temperatūra ziemotavā ir robežās no +4 līdz +6°C:

- ja temperatūra bišu stropā ir mazākā par +10.3°C, tad bišu saime atrodas kamolā un ir mierīgā, pasīvā stāvoklī;
- ja temperatūra bišu stropā ir lielākā par +13.5°C, tad bišu kamols ir izjucis un saime atrodas lēnā perošanas stāvoklī;
- ja temperatūra bišu stropā ir robežās no +10.3 līdz +13.5°C, tad precīzi prognozēt bišu saimes stāvokli pēc momentānās temperatūras nav iespējams, un ir jāveic bišu saimes temperatūras dinamikas analīze;
- ja temperatūra bišu stropā ir vienāda ar āra gaisa temperatūru, tad bišu saime ir gājusi bojā.

Matemātiski šīs sakarības var pierakstīt šādi:

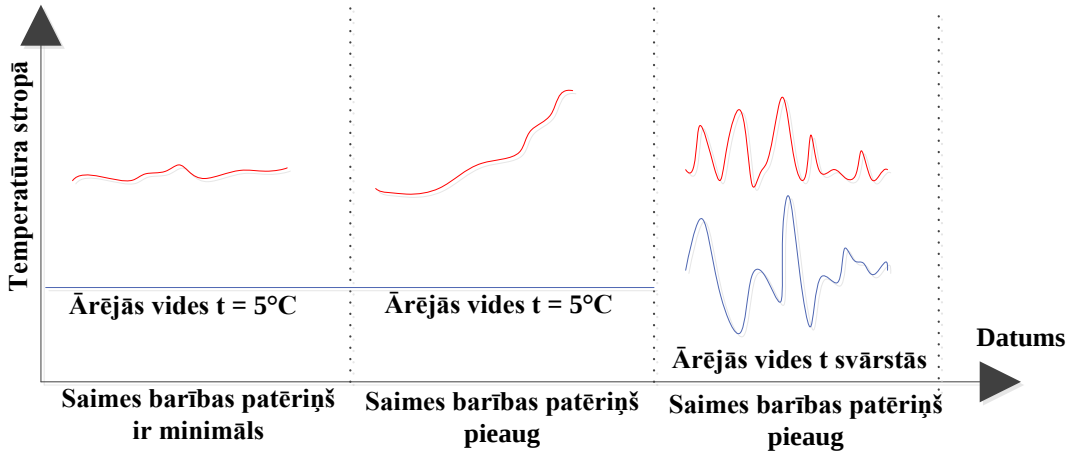
$$F(T) = \begin{bmatrix} T \sim Tout, bišu\ saime\ ir\ mirusi \\ T < 10.3, bišu\ saime\ ir\ pasīvā\ stāvoklī \\ T > 13.5, bišu\ saime\ ir\ perošanas\ stāvoklī \\ 10.3 \leq T \leq 13.5, jāskatās\ temperatūras\ dinamika \end{bmatrix},$$

kur T ir vidējā nedēļas temperatūra bišu saimē un Tout ir āra gaisa temperatūra.

No modeļa var secināt, vai bišu saime atrodas stabilā miera stāvoklī, vai ir sācies perošanas process un vai bišu saime vispār ir dzīva un nav gājusi bojā. Šī modeļa informācija galvenokārt ir nepieciešama biškopim, lai kontrolētu un, nepieciešamības gadījumā, vadītu perošanas procesu ziemas laikā, jo, ja tas ir sācies pārāk agri, tad ir nepieciešams procesu pilnīgi apturēt vai palēnināt, samazinot iekšējo ziemotavas temperatūru. Ja peru ražošanas uzsākšana kavējas, to var stimulēt ar temperatūras maiņu ziemotavā vai siltumizolācijas maiņu ārā ziemojošām saimēm.

3.5.3. Bišu saimes barības patēriņa modelis

Bišu ziemošanas laikā kvalitatīvais bišu saimes barības patēriņa modelis ir lietojams, lai atkarībā no bišu stropa temperatūras izmaiņām var secināt par bišu saimes barības patēriņu (skat. 3.40. att.):



3.40. att. **Bišu saimes barības patēriņa kvantitatīvā modeļa shematiskais attēlojums.**

Avots: Autora veidots attēls.

Modelis var būt lietots visu bišu ziemošanas periodu. Modeļa ieejas dati ir iekšējā temperatūra stropā, bet papildus ir jāņem vērā arī ziemotavas relatīvais mitrums un aktuālais datums, kā izejas dati ir informācija par bišu saimes patērēto barības daudzumu un barības atlikumu saimē (skat. 3.41. att.):

3.41. att. **Bišu saimes barības patēriņa modelis.**

Avots: Autora veidots attēls.

Pēc modeļa var kvalitatīvi secināt, vai bišu saimes barības patēriņš ir minimāls, vai tas pieaug, jo nav atklāta tieša sakarība starp temperatūru bišu saimē un barības patēriņu. Bet ir pilnīgi skaidrs, ka, ja pie pastāvīgiem ārējiem apstākļiem temperatūra bišu saimē pieaug, tad arī saimes barības patēriņš pieaug.

Matemātiski šīs bišu saimes temperatūras un barības patēriņa sakarības var pierakstīt šādi:

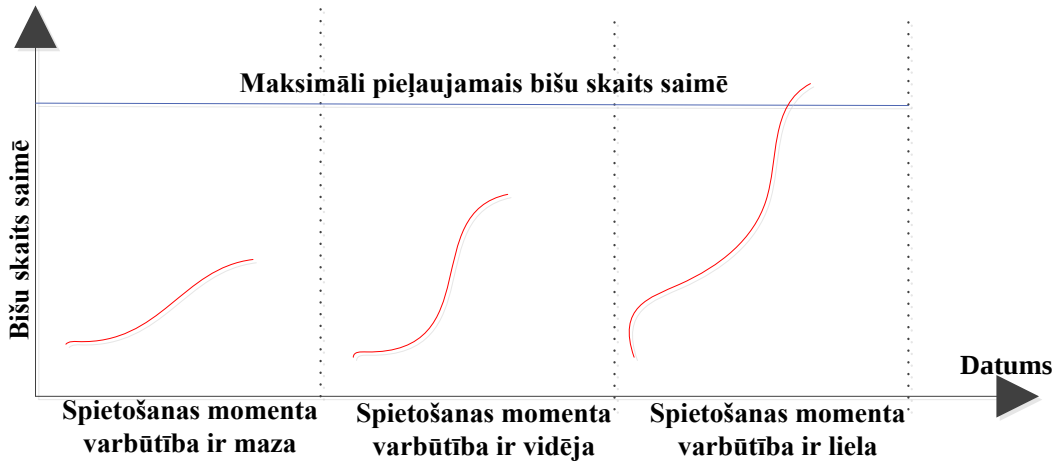
$$F(T) = \begin{bmatrix} T1 < T2, barības\ patēriņš\ ir\ pieaudzis \\ T1 > T2, barības\ patēriņš\ ir\ samazinājies \\ T1 \sim T2, barības\ patēriņš\ nav\ būtiski\ mainījies \end{bmatrix},$$

kur T1 un T2 ir divu nedēļu vidējās temperatūras.

Šī modeļa informācija galvenokārt ir nepieciešama biškopim, lai sekotu līdzi saimes barības patēriņa dinamikai un secinātu par barības pietiekamību saimē.

3.5.4. Bišu saimes spietošanas momenta modelis

Pēc ziemošanas perioda bišu saimes spietošanas momenta kvalitatīvais modelis ir lietojams, lai atkarībā no prognozētā bišu skaita saimē varētu minimizēt bišu saimes spietošanas momentu vasarā (skat. 3.42. att.):



3.42. att. **Bišu saimes spietošanas momenta kvalitatīvā modeļa shematiskais attēlojums.**

Avots: Autora veidots attēls.

Modelis var tikt pielietots periodiski. Modeļa ieejas dati ir bišu skaits saimē atkarībā no perošanas sākuma un mātes sagaidāmās dējības (pēc bišu saimes lieluma dinamikas modeļa sadaļā 3.5.1.). Izejas dati ir prognozējošā informācija par potenciālo bišu saimes spietošanas varbūtību (skat. 3.43. att.):

3.43. att. **Bišu saimes spietošanas momenta modelis.**

Avots: Autora veidots attēls.

Pēc modeļa var secināt par spietošanas momenta varbūtības pakāpi (maza, vidēja vai liela varbūtība).

Matemātiski šīs bišu saimes skaita un spietošanas momenta varbūtības sakarības var arī pierakstīt šādi:

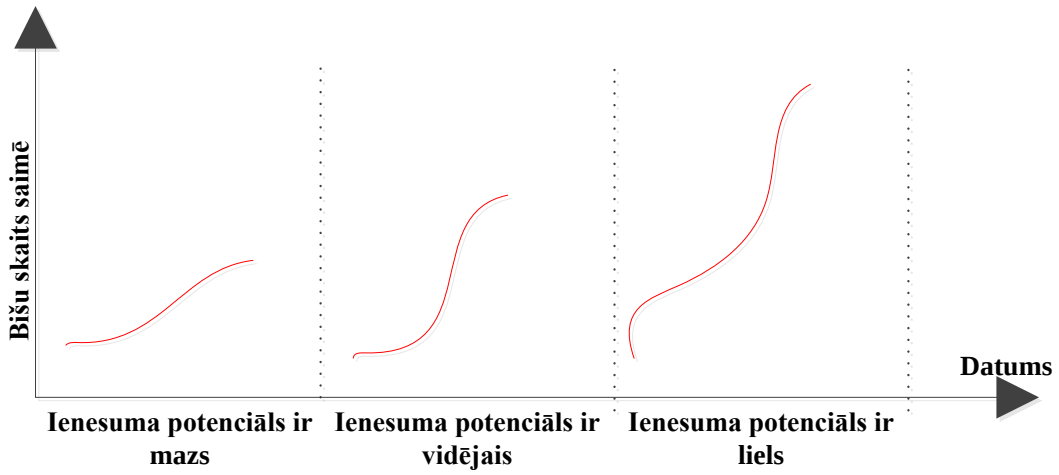
$$F(Bs) = \begin{bmatrix} Bs < \frac{1MaxBs}{2}, spietošanas\ varbūtība\ ir\ maza \\ \frac{1MaxBs}{2} < Bs < \frac{3MaxBs}{4}, spietošanas\ varbūtība\ ir\ vidēja \\ Bs \sim MaxBs, spietošanas\ varbūtība\ ir\ liela \end{bmatrix},$$

kur Bs ir bišu skaits saimē, un MaxBs ir maksimāli pieļaujamais bišu skaits saimē. Skaitlis Bs tiek iegūts no modeļa 3.5.1., bet MaxBs ir eksperimentāli jānosaka katrai bišu rasei paturot prātā, ka tā ir orientējoša vērtība un spietošanas momentu papildus ietekmē arī laika apstākļi vai saimes ģenētiskā informācija. Saimes sadalīšana mazākās vai nodrošināšana ar citu darbu arī var aizkavēt spietošanu, bet tādi pasākumi samazina arī saimes ienesuma potenciālu.

Šī modeļa informācija galvenokārt ir nepieciešama biškopim, lai samazinātu risku, ka īsi pirms medus ienesuma saimes spieto, jo ir sasniegušas pārāk lielu bišu skaitu. Šādā gadījumā spietošana rada ne tikai zaudējumus aizlidojušo bišu dēļ, jo tiek zaudēts arī plānotais nektāra ienesums.

3.5.5. Bišu saimes ienesuma potenciāla modelis

Pēc ziemošanas perioda vēl viens bišu saimes ienesuma potenciāla kvalitatīvais modelis ir pielietojams, lai noteiktu vēlamo bišu skaitu ienesuma sākumā (skat. 3.44. att.):



3.44. att. **Bišu saimes ienesuma potenciāla kvalitatīvā modeļa shematiskais attēlojums.**

Avots: Autora veidots attēls.

Modelis var būt lietots periodiski. Modeļa ieejas dati ir prognozētais bišu skaits saimē, kā izejas dati ir prognozējošā informācija par bišu saimes ienesuma potenciālu (skat. 3.45. att.):

3.45. att. **Bišu saimes ienesuma potenciāla modelis.**

Avots: Autora veidots attēls.

Pēc modeļa var secināt par bišu saimes ienesuma potenciālu (mazs, vidējs vai liels ienesuma potenciāls).

Matemātiski šīs bišu saimes skaita un spietošanas momenta varbūtības sakarības var pierakstīt šādi:

$$F(Bs) = \begin{bmatrix} Bs < \frac{1MaxBs}{2}, ienesuma\ potenciāls\ ir\ mazs \\ \frac{1MaxBs}{2} < Bs < \frac{3MaxBs}{4}, ienesuma\ potenciāls\ ir\ vidējs \\ Bs \sim MaxBs, ienesuma\ potenciāls\ ir\ liels \end{bmatrix},$$

kur Bs ir bišu skaits saimē, un MaxBs ir maksimāli pieļaujamais bišu skaits saimē.

Šī modeļa informācija galvenokārt ir nepieciešama biškopim, lai maksimizētu no bišu saimes iegūto medu.

3.5.6. Daudzu dimensiju modeļu sadarbības realizācija

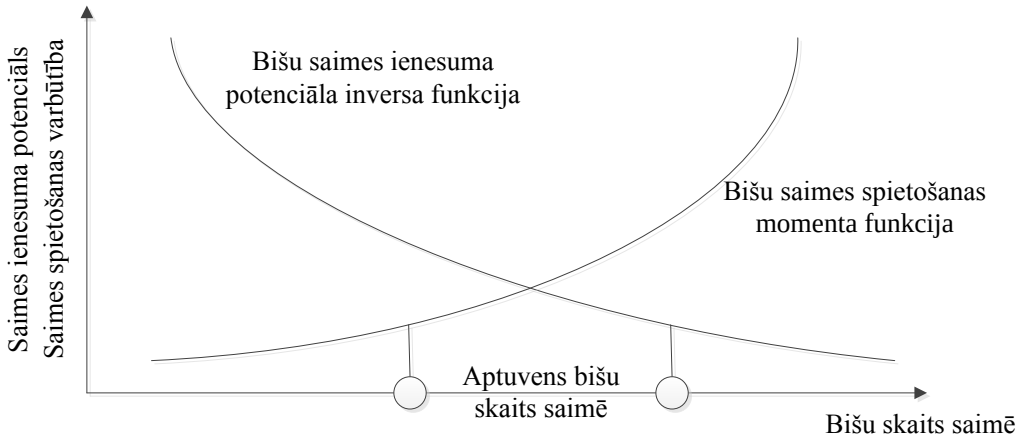
Promocijas darba autora vienā no piedāvātajām novitātēm ir vairāku dažādu dimensiju modeļu sadarbības shēmas izmantošana lēmuma pieņemšanas procesā.

Demonstrēt modeļu sadarbības shēmu var, vizuāli parādot modeļu savstarpējās attiecības vienā konkrētā piemērā. Viens no biškopju uzdevumiem ir, minimizējot bišu saimes spietošanas varbūtību (bišu saimes spietošanas momenta modelis), maksimizēt bišu saimes ienesuma potenciālu (bišu saimes ienesuma potenciāla modelis) kādā konkrētā laika posmā. Pastāvošā problēma ir tāda, ka abi šie mainīgie ir atkarīgi no bišu skaita un biškopim pašam, atkarībā no savām spējam un iemaņām, ir jāizlemj, kāds bišu saimes skaits ir vēlams (skat. 3.46. att.).

Gadījumā, ja biškopis atrodas dravas tuvumā un spietošanas gadījumā var noķert spietu vai kā citādi novērst bišu zaudēšanu, varētu būt lietderīgi izvēlēties lielāku bišu skaitu saimē, kas sola labāku ienesuma izmantošanu ņemot vērā, ka būs aktīvi jādarbojas iespējamajā spietu ķeršanā. Gadījumā, ja nav iespējams pieskatīt bites, būtu ieteicams kā mērķa bišu daudzumu izvēlēties mazāku skaitu samazinot spietošanas risku, diemžēl līdz ar ienesuma samazināšanos kā blakusefektu.

Gadījumā, ja dravas novietnē ir samērā daudz saimju un ienesums nav paredzams intensīvs, par mērķa bišu skaitu var uzstādīt relatīvi nelielu bišu skaitu, kas būs pietiekams ienesuma ievākšanai pilnā apjomā bišu produktīvās lidošanas rādiusā (ap 3 km).

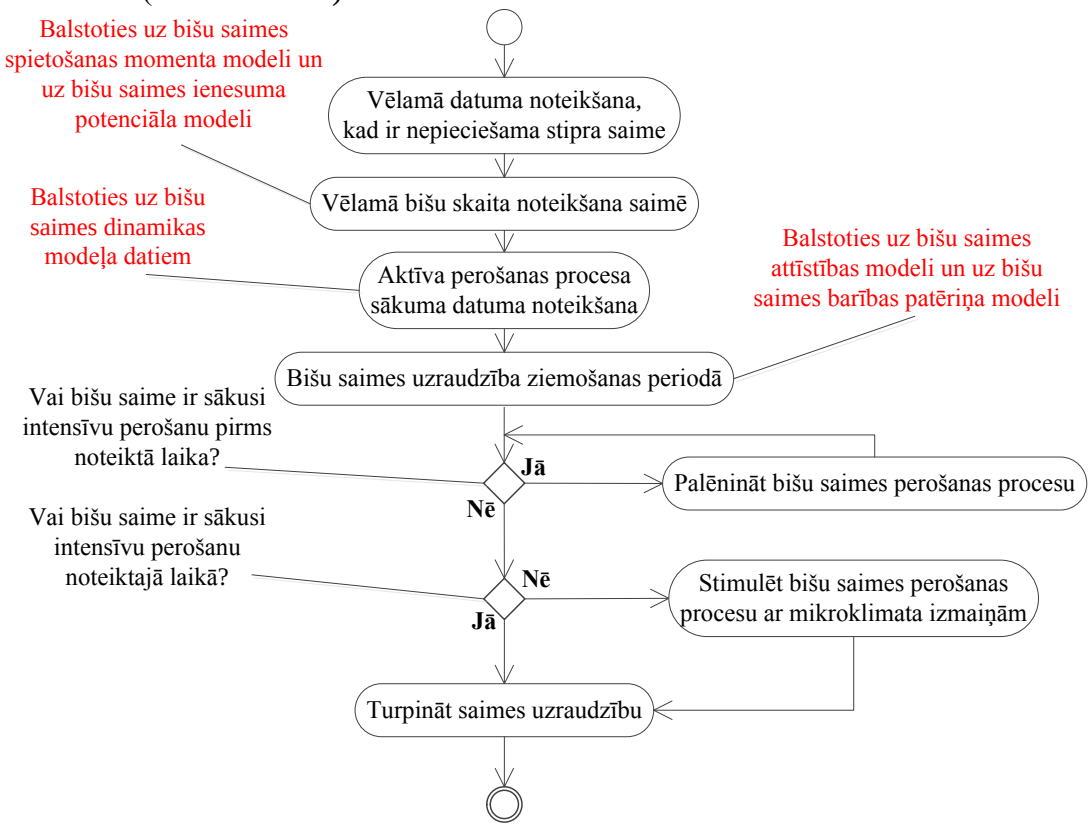
Spietošanas varbūtību, protams, atkal ietekmē gan laika apstākļi, gan bišu rases vai pasugas ģenētiskās īpatnības.



3.46. att. **Kompromisa modelis vēlamā bišu skaita analīzei salāgojot spietošanas risku ar vāju ienesumu saimju mazo izmēru dēļ.**
Avots: Autora veidots attēls.

Kad ir zināms nepieciešamais bišu saimes skaits un ir definēts vēlamais datums, kad ir nepieciešama stipra un attīstīta bišu saime, var izmantot bišu saimes lieluma dinamikas modeli, lai noteiktu datumu, kad bišu saimei ir nepieciešams sākt aktīvu perošanas procesu. Ziemošanas laikā bišu saimes uzraudzība tiek veikta, balstoties uz bišu saimes attīstības modeli un uz bišu saimes barības patēriņa modeli. Vēlamajā intensīvās perošanas sākuma datumā ir jāpārbauda, vai saime tiešām ir sākusi šo posmu.

Atkarībā no novērojumiem biškopim ir nepieciešams pieņemt lēmumu par ietekmi uz bišu saimēm (skat. 3.47. att.):



3.47. att. **Vairāku modeļu lietošana bišu saimes ziemošanas procesa vadībā.** Avots: Autora veidots attēls.

3.6. Lēmumu pieņemšanas algoritms bišu saimes ziemošanas procesa vadībai

Bišu ziemošanas laikā lēmuma atbalsta sistēma ir nepieciešama, lai, balstoties uz aktuālo un reālajā laika iegūto bišu saimes informāciju, biškopis varētu pieņemt pareizu lēmumu par ziemošanas procesa norisi.

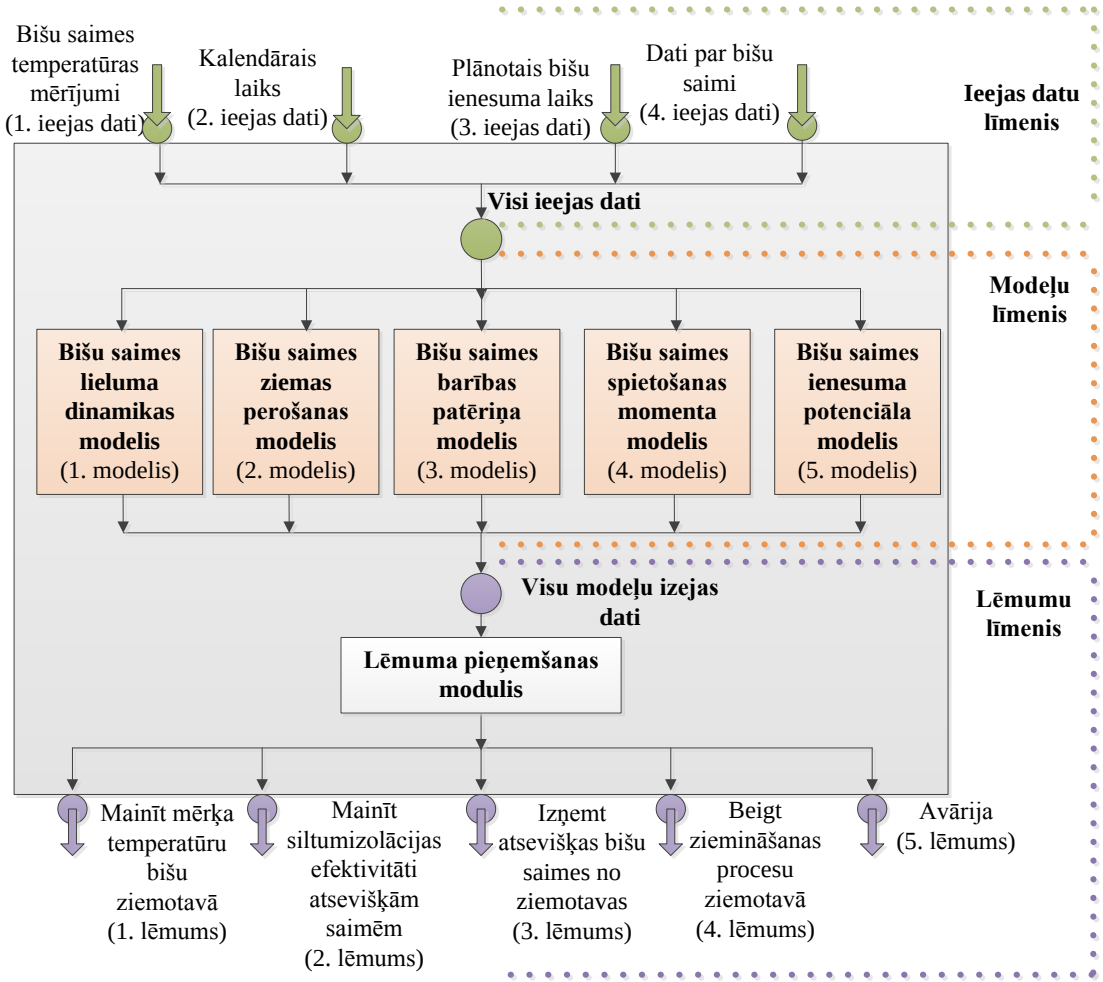
Bišu ziemošanas laikā sistēmas ieejas dati ir bišu saimes temperatūras mērījumi, reālais kalendārais laiks, plānotais bišu ienesuma laiks un dati par pašu bišu saimi.

Modeļu līmenī ir analizēti sadaļā 4.5. minētie modeļi: bišu saimes lieluma dinamikas modelis, bišu saimes ziemas perošanas modelis, bišu saimes barības patēriņa modelis, bišu saimes spietošanas momenta modelis un bišu saimes ienesuma potenciāla modelis.

Lēmuma līmenī ir nepieciešams pieņemt vienu no lēmumiem:

- mainīt mērķa temperatūru bišu ziemotavā;
- mainīt siltumizolācijas efektivitāti atsevišķām saimēm;
- izņemt atsevišķas bišu saimes no ziemotavas;
- beigt ziemināšanas procesu ziemotavā;
- ir notikusi avārija.

3.48. att. demonstrē lēmuma pieņemšanas procesa modeli bišu ziemošanas procesam.



3.48. att. **Lēmuma pieņemšanas procesa modelis bišu ziemošanas procesam.** Avots: Autora veidots attēls.

Ir nepieciešams piebilst, ka lēmuma izvēlēs procesā, katrs atsevišķs modelis izmanto tikai daļu no ieejas informācijas un katrs atsevišķs lēmums tiek pieņemts, balstoties lietojot tikai atsevišķus modeļus. 3.6. tabulā ir demonstrēti kādi ieejas dati ir nepieciešami modeļiem.

3.6. tabula. **Modeļiem nepieciešamie dati**

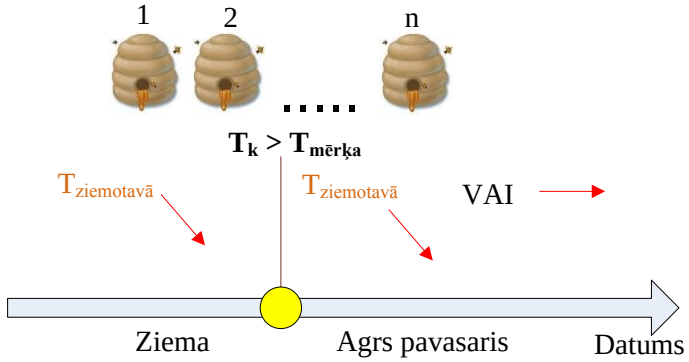
Izmantotā informācija	**1. modelis**	**2. modelis**	**3. modelis**	**4. modelis**	**5. modelis**
1. ieejas dati	-	X	X	-	-
2. ieejas dati	X	X	X	-	-
3. ieejas dati	-	-	-	X	X
4. ieejas dati	X	-	-	X	X

- **Lēmums par bišu ziemotavas mērķa temperatūras mainīšanu**

Bišu saimes temperatūras mērījumi galvenokārt identificē bišu perošanas procesu, un biškopim ir nepieciešams pieņemt lēmumu par to, vai atļaut šim procesam sākties un noritēt vai apturēt to. Lēmumu sarežģī situācija, ka viens pieņemtais lēmums ietekmē ne tikai vajadzīgo vienu bišu saimi, bet arī visas pārējās bišu saimes ziemotavā. Tāpēc var rasties situācija, kad lēmums pozitīvi ietekmē vajadzīgo saimi, bet tajā paša laikā atstāj negatīvu ietekmi uz pārējām saimēm.

Būtiski ir pieņemt lēmumu par to, cik liels saimju skaits ir nepieciešams, lai varētu mainīt ziemotavas temperatūru, vai pietiek ar vienas bišu saimes datiem, vai ir jāgaida konkrētais bišu saimju skaits, kuros temperatūra strauji mainās.

Kā arī lēmuma pieņemšanas brīdī ir jāņem vērā laika moments (datums) un laika prognoze nākamajam periodam. Lēmuma pieņemšanas modelis shematiski var izskatīties šādi (skat. 3.49. att.):

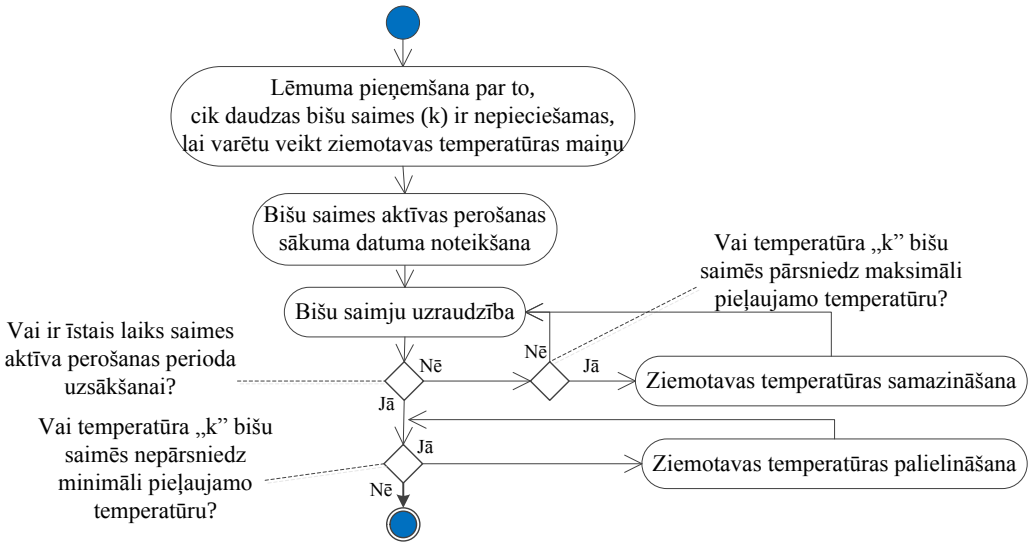


k – nepieciešamais stropu skaits, lai veiktu lēmuma pieņemšanu
$T_{mērķa}$ – mērķa temperatūra stropā
$T_k > T_{mērķa}$ – temperatūra «k» stropos ir lielāka nekā mērķa temperatūra stropā

3.49. att. **Lēmuma pieņemšanas shematiskais modelis.**
Avots: Autora veidots attēls.

Ja temperatūra „k" bišu saimēs ziemināšanas periodā pārsniedz maksimālo pieļaujamo temperatūru, tad ir jāsamazina iekšējā temperatūra ziemotavā, lai palēninātu bišu saimju attīstību. Ja temperatūra „k" bišu saimēs pārsniedz maksimāli pieļaujamo temperatūru agrā pavasarī, tad ir jāpieņem lēmums vai tas ir nepieciešamais laiks, kad ir jāsāk aktīvais perošanas periods, un tad atkarībā no tā jāļauj bišu saimei attīstīties vai jāpalēnina/jāpaātrina šo procesu samazinot/palielinot gaisa temperatūru ziemotavā.

Lēmuma pieņemšanas algoritms ziemotavas temperatūras maiņai ir demonstrēts 3.50. att.:



3.50. att. **Lēmuma pieņemšanas algoritms ziemotavas temperatūras maiņai.**
Avots: Autora veidots attēls.

- **Lēmums par atsevišķas bišu saimes vadību**

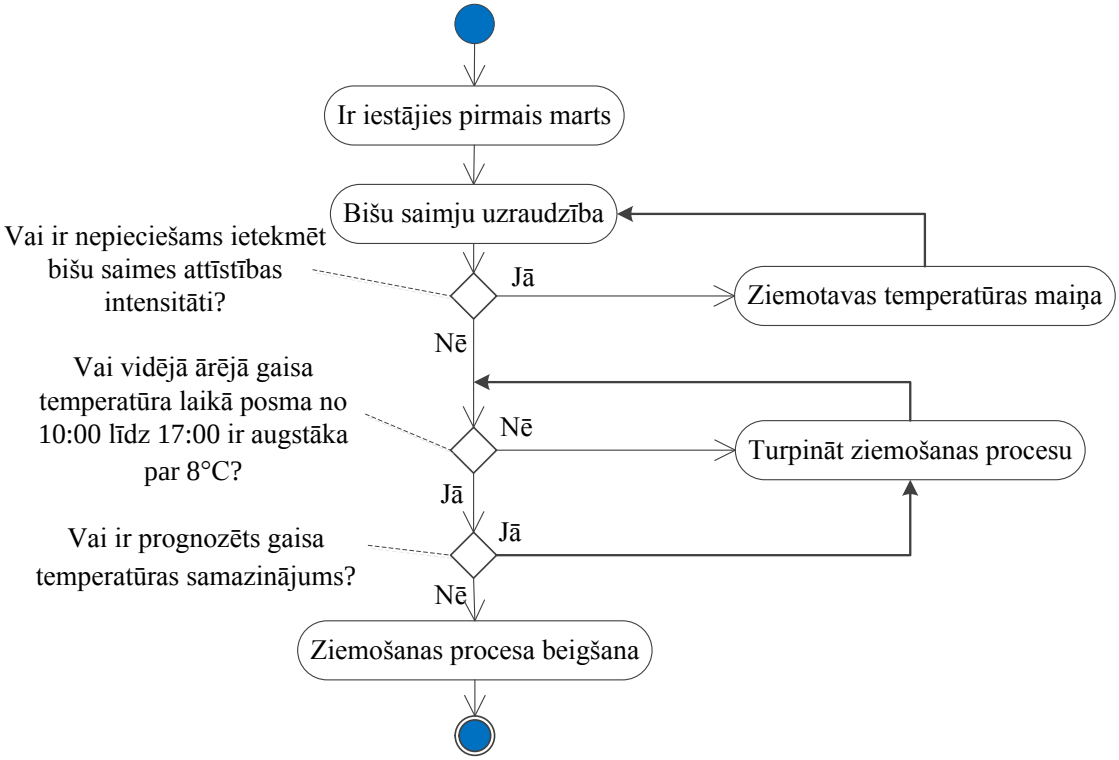
Ja ir nepieciešams ietekmēt tikai vienu bišu saimi, tad praktiski to var iznest ārā no ziemotavas, un šajā gadījumā pārējās saimes netiks ietekmētas. Iznestajai saimei gan var izrādīties grūti pārdzīvot kraso, dabiskiem apstākļiem neraksturīgo temperatūras maiņu.

Ja vien ir iespēja, būtu vēlams atsevišķu saimju iznešanu no ziemotavas veikt laikā, kad temperatūras starpība starp ziemotavu un āru ir minimāla. Siltinošu efektu var adīt arī tieši saules stari.

Vēl viena iespēja atsevišķas bišu saimes vadībai ir siltumizolācijas efektivitātes mainīšana to samazinot vai palielinot.

- **Lēmums par ziemināšanas procesa beigšanu**

Ziemināšanas procesa beigšana praktiski nozīmē visu bišu saimju izņemšanu ārā no bišu ziemotavas. Lēmums par bišu saimju ziemošanas procesa beigšanu ir jāpieņem īpaši piesardzīgi, jo nepareizs lēmums var ietekmēt visus ziemošanas rezultātus. Domāt par procesa izbeigšanu var, sākot no pirmā marta (Markovics et al., 2002), ja vairs nav plānots ietekmēt bišu saimju attīstības intensitāti. Pieņemot lēmumu, ir jāskatās uz ārējās gaisa temperatūras svārstībām. Ja vidējā ārējā gaisa temperatūra laika posmā no 10:00 līdz 17:00 ir ap +8°C un pēc laika prognozēm nav paredzēts temperatūras samazinājums, tad ziemošanas procesu var beigt. Shematiski bišu saimju ziemošanas procesa izbeigšanas algoritmu var atspoguļot šādi (skat. 3.51. att.):

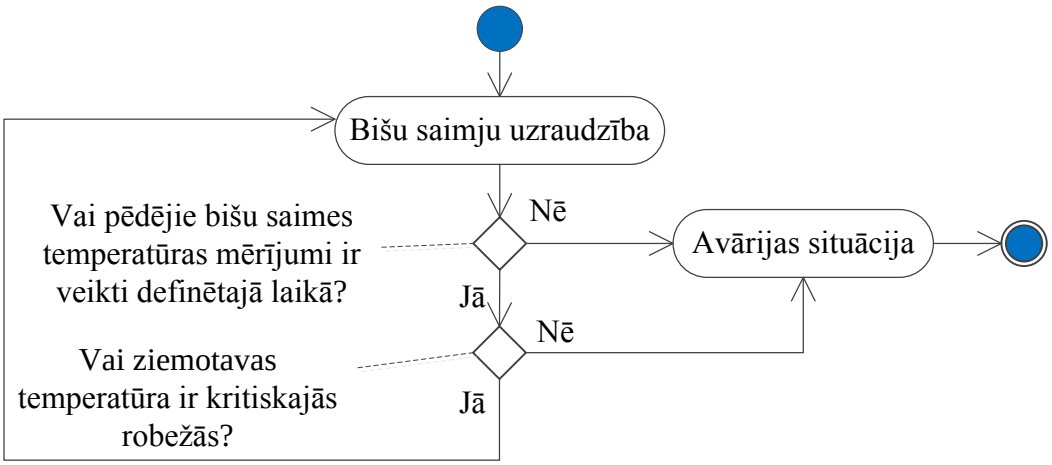


3.51. att. **Lēmuma pieņemšanas algoritms ziemošanas procesa beigšanai.** Avots: Autora veidots attēls.

- **Lēmums par avārijas konstatēšanu**

Ziemošanas laikā var rasties arī neparedzētas avārijas situācijas. Visbiežāk avārijas situācijas ir saistītas ar ziemotavas temperatūras vadības sistēmas vai bišu saimju temperatūras vadības sistēmas darbības apstāšanos vai nekorektu darbību. Bišu saimes temperatūras sistēmas kļūdu var atklāt, apskatot bišu saimes reālos temperatūras

mērījumus. Ja pēdējie mērījumi ir iegūti pirms krietna laika, tad notikusi sistēmas kļūda. Par ziemotavas iekšējās temperatūras vadības sistēmas darbības kļūdu paziņos e-pasts, ja temperatūra izies ārpus kritiskajām robežām. Shematiski lēmuma pieņemšanas algoritmu par avārijas situāciju var atspoguļot šādi (skat. 3.52. att.):



3.52. att. **Lēmuma pieņemšanas algoritms avārijas situācijas noteikšanai.** Avots: Autora veidots attēls.

3.7. Biškopja iesaiste lēmuma verifikācijā

Teorētiski ir iespējams lēmuma pieņemšanas procesu pilnīgi automatizēt un atbrīvot cilvēku no iejaukšanās tajā, tomēr atļaut datorizētai sistēmai pašai veikt galīgo lēmuma pieņemšanu bioprocesu vadības gadījumā var būt riskanti, jo specifiskās eksperta zināšanas un pieredze pareizāk novērtēs konkrēto situāciju, ņemot vērā arī citus nerakstītus likumus. Tādēļ cilvēkam (biškopim), datoru sistēmas pieņemtu lēmumu, ir nepieciešams novērtēt un tad to akceptēt vai noraidīt. Turklāt, ņemot vērā, ka galīgais lēmums nav jāpieņem steidzami un reālajā laikā, pateicoties salīdzinoši lēnajiem bišu saimes ziemošanas procesiem. Biškopis var pieņemt lēmumu bez steigas, turklāt, ir iespējama konsultēšanās ar citiem biškopjiem vai speciālistiem. Interesanti būtu šādā gadījumā uzzināt arī citu biškopju saimniecībās veiktos mērījumus.

3.8. Temperatūras vadības sistēmas mērķa temperatūras izmaiņas process

Pēc datu analīzes var rasties situācija, ka ir nepieciešams ziemotavas mērķa iekšējo temperatūru mainīt. Ir vairāki scenāriji, kā tas ir izdarāms. Viens no variantiem ir attālināti izlabot kontrollera vadības programmu, mainot mērķa temperatūras mainīgo vērtību. Viens būtisks trūkums šajā gadījumā ir tas, ka, veicot šādu izmaiņu, ir nepieciešams pilnīgi apturēt vadības sistēmu. Otrs iespējamais risinājums ir, izmantojot kontrollera tīmekļa saskarni, mainīt temperatūras mainīgo vērtību, kas netraucēs sistēmas darbībai, bet pastāv situācija, ka ne visi kontrolleri atbalsta šādu iespēju. Tāpēc katrā konkrētajā gadījumā ir nepieciešams atrast piemērotāko risinājumu mērķa temperatūras maiņai.

3.9. Sistēmas realizācija „N” bišu ziemotavās

Iespējams gadījums, kad biškopim var piederēt vairākas bišu ziemotavas, kuras atrodas dažādās lokācijās, un tad būs jāizlemj, kādu vadības stratēģiju izvēlēties. Var izmantot decentralizētu vai centralizētu vadības sistēmu.

„N” ziemotavās, vienalga katru atsevišķu ziemotavu būs jāaprīko ar lokālu mikroklimata vadības sistēmu un bišu saimes individuālu temperatūras sensoru tīklu. Decentralizētajā un centralizētajā variantā atšķirsies datu iegūšanas un analīzes process.

Decentralizētajā vadības gadījumā dati par katru ziemotavu būs analizēti atsevišķās sistēmās neatkarīgi, bet centralizētajā gadījumā dati par visām ziemotavām tiks apkopoti vienā sistēmā, kur arī notiks datu analīzes process, bet gala lēmums tik un tā tik pieņemts katrai ziemotavai.

Promocijas darba autors piedāvā „n” ziemotavās izmantot centralizētu vadības stratēģiju, izstrādājot vienotu sistēmu visiem neatkarīgiem mērījumiem. Tas ļaus vienā ziemotavā ziemojošās bišu saimes salīdzināt ar citur ziemojošajām saimēm, salīdzināt, kā vadības ietekmes gadījumā mainās uzvedība dažādās bišu saimēs. Vairāku ziemotavu datu novērošana ir ļoti vērtīga problēmu diagnostikas nolūkos. Gadījumā, ja kādas negaidītas novirzes vērojamas visās ziemotavās, ir skaidrs, ka pašas zeimotavas darbojas saskaņā ar tehnisko uzdevumu, bet problēmas ir meklējamas saimēs, kopšanas tehnoloģijās vai saimju ģenētiskajā daudzveidībā. Turpretī gadījumā, ja savādi mērījumu rezultāti iegūti vienā no ziemotavām, kļūst skaidrs, ka problēma ir lokāla un ir lokāli risināma.

Novirzes ziemotavas mērogā var rasties slimību attīstības gadījumā, tehnisku problēmu vai arī ārēju apstākļu, piemēram, trokšņa dēļ.

Nodaļas secinājumi

Promocijas darba praktiskā daļa ir veltīta bišu ziemošanas procesa uzraudzības un vadības uzdevuma risināšanai. Darba gaitā ir izstrādāta un divās ziemās eksperimentāli testēta datorvadības sistēma precīzās biškopības principu realizācijai bišu saimju zieminināšanas laikā, balstoties uz individuālajiem bišu saimes temperatūras mērījumiem.

Darba gaitā ir realizēta uz modeļiem balstīta, attālināta, automatizēta datorvadības sistēma precīzās biškopības principu realizācijai bišu saimju ziemotavā ar vadāmu ziemotavas temperatūru, balstoties uz temperatūras mērījumiem bišu saimēs.

Bišu saimes ziemošanas laikā viens no svarīgākajiem aspektiem ir vadīt bišu saimes perošanas procesu tā, lai lielākā daļa saimju to sāktu vajadzīgajā laika posmā. Piedāvātais risinājums ir darīt to ar temperatūras mērīšanu katrā stropā reālajā laikā, attālināti ļaujot iegūt un saglabāt bišu saimju attīstības datus dažādās zieminināšanas vietās, un secināt par ziemošanas procesu kopumā.

Bišu ziemošanas laikā lēmuma atbalsta sistēma ir nepieciešama, lai biškopis varētu pieņemt uz reāla laika un vēsturisku datu analīzi balstītu lēmumu par ziemošanas procesa vadību.

4. BIŠU SAIMJU ZIEMINĀŠANAS VADĪBAS EKSPERIMENTI

Promocijas darba eksperimentālais darbs ir veikts bišu ziemotavā, uzraugot un vadot bišu saimes ziemošanas procesu. Praktiskajā darbā tika veikti vairāki eksperimentālie uzdevumi. Eksperimentālie mērījumi veikti divos ziemošanas periodos (2 gados). Pirmais periods bija 2010.-2011. gada ziemā, bet otrais 2011.-2012. gada ziemā.

Ja pirmajā gadā tika testēta mikroklimata vadības sistēmas darbība ar dažādām bišu saimēm, tad nākamajā gadā tika definētas objektu grupas, saimju skaits grupās un to atšķirīgās pazīmes.

4.1. Eksperimenta metodika

Eksperimenta metodika ir dota par 2011.-2012. gada ziemas periodā veikto praktisko eksperimentu. Bišu saimju ziemināšanas process ir veikts laika periodā no 2011.12.12. līdz 2012.03.21, kad saimes ir ievietotas bišu ziemotavā ar mērķi uzraudzīt saimju uzvedības izmaiņas.

Eksperimentā ir izmantotas 20 bišu saimes ziemināšanai iekštelpās un 10 bišu saimes ziemošanai ārā. Bišu saimes tika sadalītas kontrolgrupās atkarībā no siltumizolācijas. Telpā bija izvietotas 10 saimes ar siltuma izolāciju un 10 bez izolācijas, bet ārā visām saimēm bija siltuma izolācija.

Bišu stropi ārā tika izvietoti zem nojumes ar mērķi pasargāt tos no lietus un sniega (skat. 4.1. att.). Eksperimentā ir izmantoti Norvēģijas daudzkorpusu stropi ar izmēriem 47×47×27 cm, sienas biezums ir 4.5 cm.

4.1. att. **Bišu stropu izvietojums zem nojumes.**
Avots: Autora uzņemtais attēls.

Bišu saimes temperatūras mērījumiem ziemotavā tika izmantots 1-vadu tīkls, kad temperatūras nolasījumi tika veikti ik pēc 20 minūtēm. Bišu saimes temperatūras mērījumiem āra apstākļos tika izmantota iegulta iekārta un temperatūras nolasījumi arī tika veikti katras 20 minūtes.

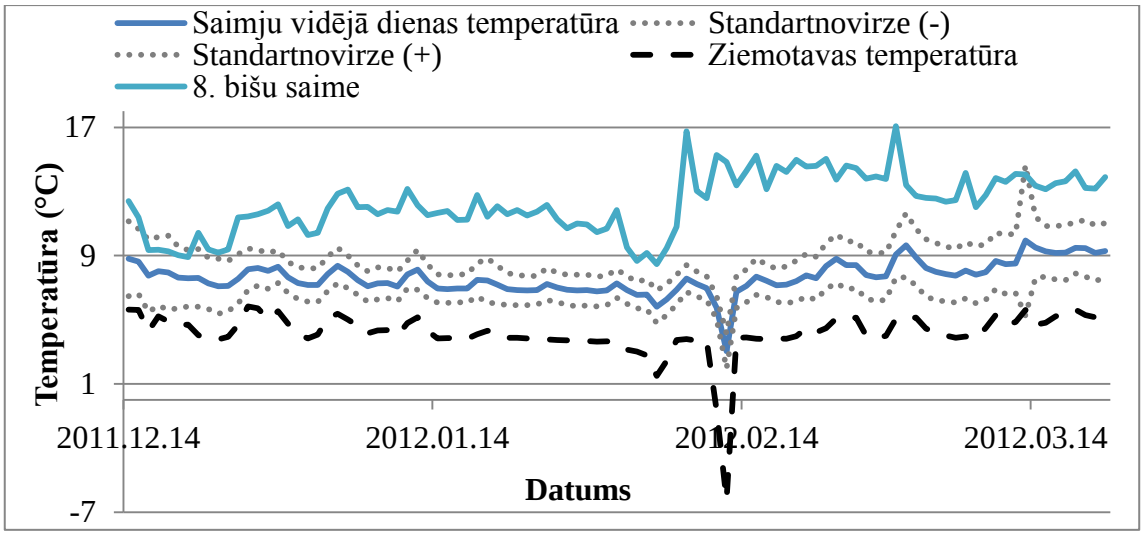
Ziemotavas temperatūra tika uzturēta robežās no +4 līdz +6°C. Recirkulācijas ventilatora radītais trokšņu līmenis visā ziemošanas periodā bija 70 dB, mērot troksni ar *testo 816* skaļuma mērītāju.

Papildus temperatūras mērījumiem bišu stropi tika svērti vienu reizi nedēļā ar mērķi novērot stropu masas izmaiņas bišu saimju barības patēriņa noteikšanai. Stropu masas izmaiņas novērtēšanai ir ņemta vērā arī stropa ar barību, bet bez bitēm masas izmaiņas, kas ļauj koriģēt mitruma ietekmi uz masas izmaiņu. Masas mērījumiem tika

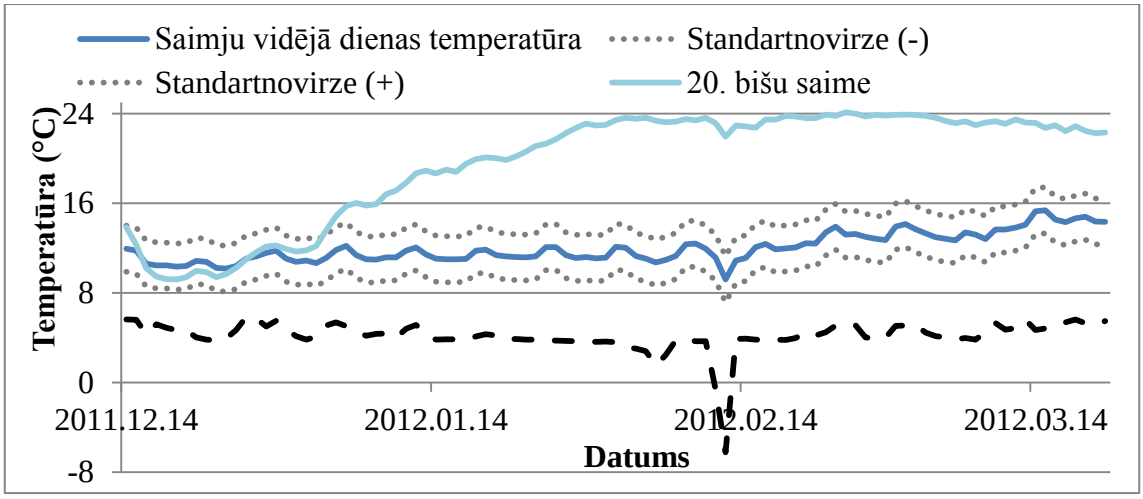
lietoti platformas svari *KERN IFS 120K1D* (maksimālais svars 120kg) ar kļūdas robežu 2g. Pati svēršanas procedūra, iespējams, ir ietekmējusi bišu saimes uzvedību, jo saime tika uzbudināta svēršanas brīdī pacelšanas dēļ un uzliekot uz svariem.

4.2. Bišu saimju temperatūras mērījumu apkopojums

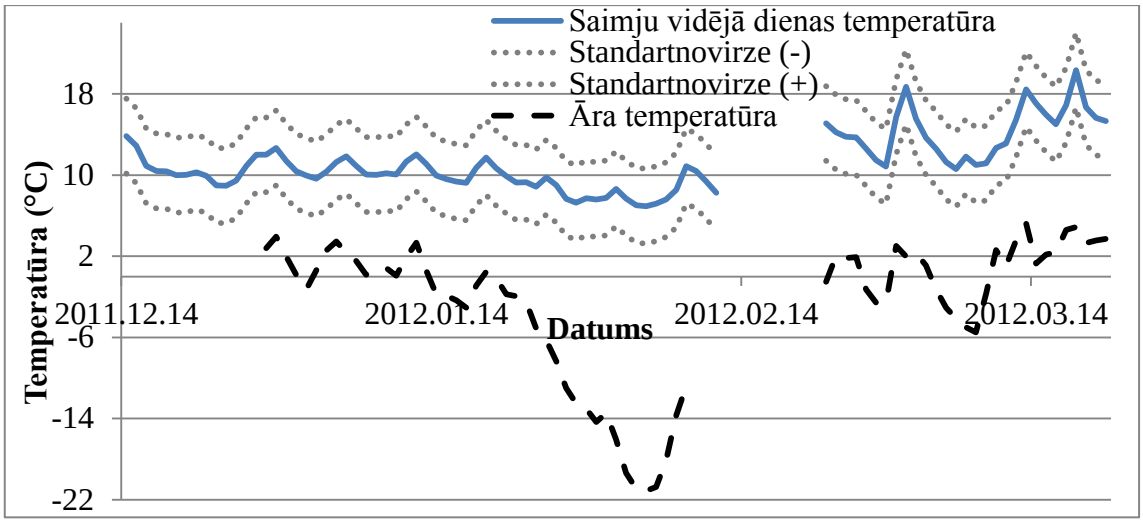
Bišu saimju temperatūras ir apkopotas pa kontrolgrupām atkarībā no saimes siltuma izolācijas. Ziemotavā bez izolācijas zieminātо bišu saimju temperatūras dinamika ir atspoguļota 4.2. att.ēlā, ziemotavā ar izolāciju zieminātо bišu saimju temperatūras dinamika ir atspoguļota 4.3. att.ēlā un āra apstākļos zieminātо bišu saimju temperatūras dinamika 4.4. attēlā. Ziemotavā var novērot, ka katrā grupā viena no bišu saimēm uzvedas atšķirīgi no visās grupas. Ārā apstākļos visas 10 saimes uzvedas līdzīgi.



4.2. att. **Ziemotavā bez izolācijas zieminātо bišu saimju temperatūras dinamika (2011.-2012. ziemas periods). 8. bišu saime nav ietverta vidējo vērtību aprēķinos, jo būtiski atšķiras no pārējām pēc *Chauvenet* (Chavuenet, 1960) kritērija.**
Avots: Autora veidots attēls pēc eksperimentālajiem datiem.



4.3. att. **Ziemotavā ar izolāciju zieminātо bišu saimju temperatūras dinamika (2011.-2012. ziemas periods). 20. bišu saime nav ietverta vidējo vērtību aprēķinos, jo būtiski atšķiras no pārējām pēc *Chauvenet* (Chavuenet, 1960) kritērija.**
Avots: Autora veidots attēls pēc eksperimentālajiem datiem.



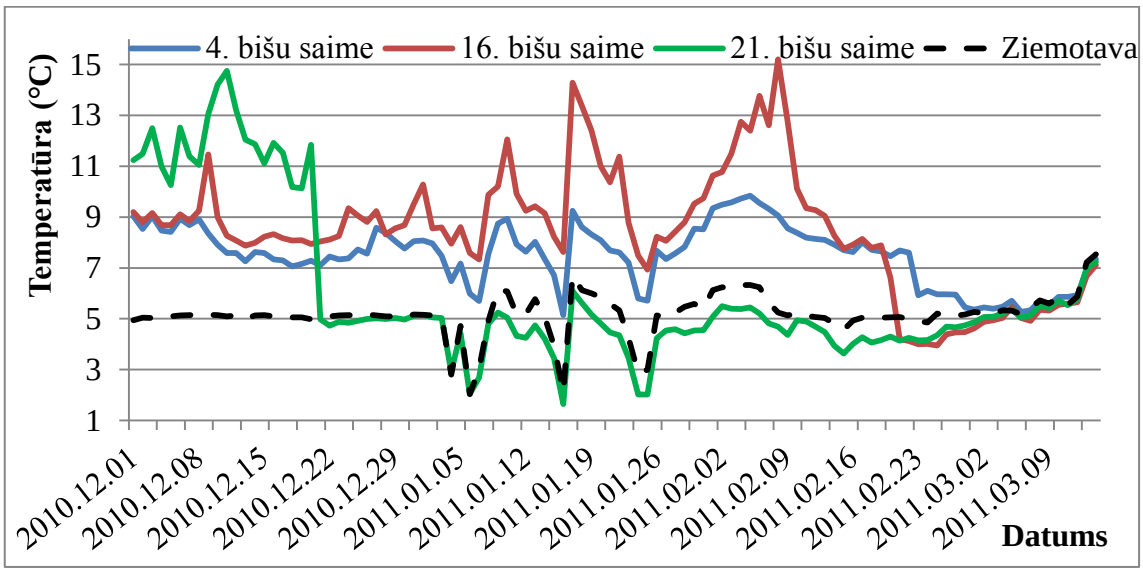
4.4. att. **Āra apstākļos ziemināto bišu saimju temperatūras dinamika (2011.-2012. ziemas periods). Tehnisku iemeslu dēļ bišu saimju temperatūras nav reģistrētas no 11.02.2012. līdz 22.02.2012.**

Avots: Autora veidots attēls pēc eksperimentālajiem datiem.

4.3. Bišu saimes bojāejas identificēšana

Pirmais praktiskais uzdevums bija noskaidrot, vai pēc temperatūras datiem jeb bišu saimes temperatūras mērījumiem biškopis varēs secināt un identificēt bišu saimes, kuras var potenciāli neizdzīvot un iet bojā. Bišu saimes bojāeju var atklāt ar strauju temperatūras kritumu bišu saimē un temperatūras tuvināšanos iekšējai ziemotavas (vai āra saimēm - āra) temperatūrai.

Analizējot pirmajā gadā praktiskajā darbā iegūtos mērījumus, tika identificētas trīs bišu saimes, kurām bija novērots straujš temperatūras kritums ziemošanas laikā (saimes numuri ir: 4., 16., 21.) (skat. 4.5. att.). Otrajā gadā neviena no bišu saimēm negāja bojā.



4.5. att. **Bišu saimes bojāejas identificēšana pēc bišu radītā siltuma (2010.-2011. ziemas periods). 21., 16. un 4. saime ir gājusibojā attiecīgi 21.12.2010., 21.02.2011. un 05.03.2011.**

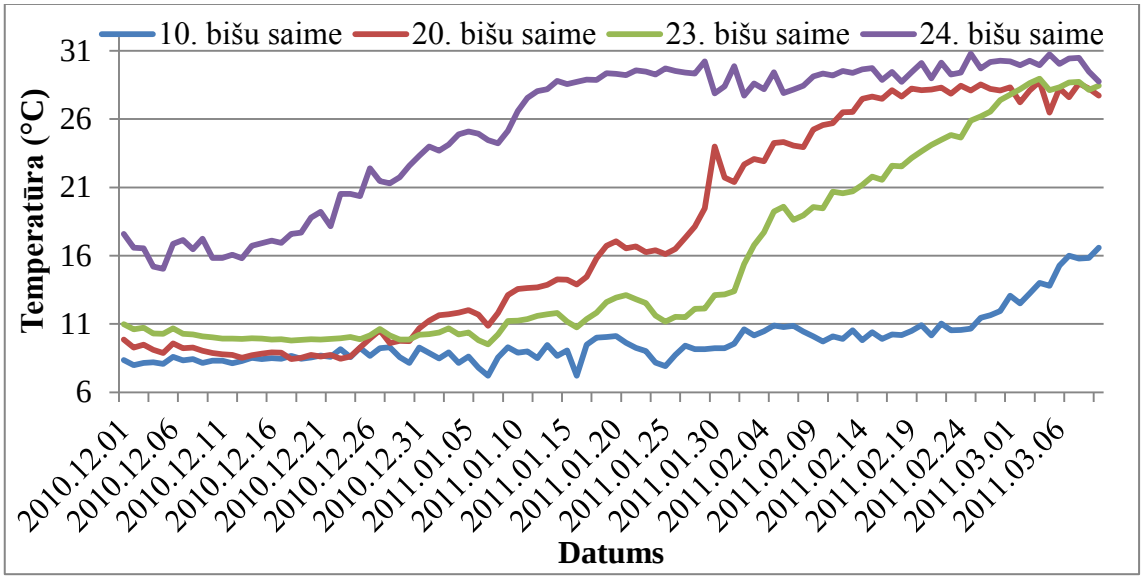
Avots: Autora veidots attēls pēc eksperimentālajiem datiem.

Analizējot grafikus, var redzēt, ka vienā laika periodā bišu saimes temperatūra sāk kristies un tuvinās ziemotavas gaisa temperatūrai. Brīdis, kad saimes temperatūra izlidzinās ar ārēja gaisa temperatūru liecina par bišu saimes bojāeju. Lai validētu un apstiprinātu šo apgalvojumu, ir nepieciešams vizuāli novērot bišu saimi. Pēc stropu atvēršanas ir secināts, ka bišu saimes tiešām ir gājušas bojā.

4.4. Bišu saimes aktīva perošanas procesa identificēšana

Otrais praktiskais uzdevums bija noskaidrot, vai pēc temperatūras datiem jeb bišu saimes temperatūras mērījumiem biškopis varēs secināt un identificēt bišu saimes, kuras ir sākušas aktīvo perošanas procesu. Aktīvas perošanas pazīme ir temperatūras ilgstoša paaugstināšanās bišu saimē (Stalidzans, Berzonis, 2013).

Pēc pirmā gada eksperimentālajiem datiem vislabāk šo bišu saimju perošanas procesu var atspoguļot ar grafikiem pēc iegūtiem datiem par 10., 20., 23. un 24. bišu saimi (skat. 4.6. att.). Bet kopumā ap 12 bišu saimēm tika novērots perošanas procesa sākums. Ir labi novērojams, ka temperatūras kāpums apstājas pie +30°C. Zinot, ka peru audzēšanai nepieciešami +35°C, un temperatūra ārpus peru audzēšanas vietas ligzdā krītas strauji, +30°C temperatūra virs ligzdas ir skaidra intensīvas peru audzēšanas (pretstatā peru audzēšanas uzsākšanas fāzei) pazīme.



4.6. att. **Bišu saimes perošanas posma identificēšana pēc saimes temperatūras stabila pieauguma (2010.-2011. ziemas periods). 10., 20., 23. un 24. saime sāk lineāru temperatūras kāpināšanu attiecīgi 13.12.2010, 23.12.2010., 22.01.2011. un 22.02.2011.**

Avots: Autora veidots attēls pēc eksperimentālajiem datiem.

4.5. Bišu saimes uzvedības vadība

Trešais praktiskais uzdevums bija noskaidrot, vai bišu saimes reaģē uz ziemotavas iekšējās gaisa temperatūras izmaiņām un vai, samazinot vai palielinot ziemotavas temperatūru, mainās arī kopējā bišu saimes uzvedība.

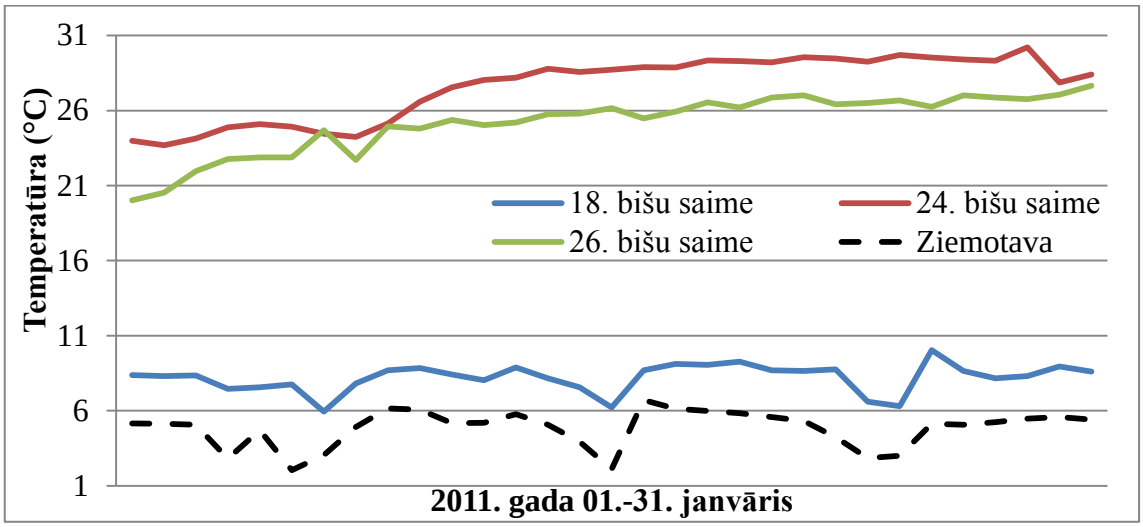
Ievērojami palielinot ziemotavas gaisa temperatūru, bišu saimes kļūst acīmredzami aktīvākas un pat izlido ārā no saviem bišu stropiem (secināts pēc reāliem, vizuāliem novērojumiem), kas ziemošanas periodā ir pilnīgi nepieņemami, jo šī

izlidošana var izvērsties par bišu saimes bojāeju. Bites sāk izlidot no stropiem, kad gaisa temperatūra ir virs +8°C.

Ziemotavas gaisa temperatūras pazemināšanās gadījumā novērojamā temperatūra dažās bišu saimēs arī pazeminās, bet dažās paliek nemainīga (skat. 4.7. att.). 2010./2011. gadā eksperimentu laikā temperatūra ziemotavā uz īsu laika periodu tika pazemināta līdz +2°C. Autora izmēģinājumos pazemināt temperatūru vēl vairāk nebija iespējams, jo gan PLK vadības sistēmai, gan datoram ieteicamā darbības temperatūra ir ap +5°C, un, mēģinot pazemināt temperatūru vēl vairāk, būtu apdraudēta vadības sistēmas stabilitāte un praktiskais eksperiments kopumā.

Pēc grafika var novērot, ka mērītā temperatūra 18. bišu saimē gandrīz ideāli atkārto ziemotavas iekšējās temperatūras svārstības. Bet tas vienalga nevar mums liecināt par to, vai bišu saimes aktivitāte ir samazināta, jo reāli ziemotavas temperatūra bija samazināta ļoti minimāli, bet, lai objektīvi spriestu par tās ietekmi, ir nepieciešams lielāks temperatūras samazinājums ilgākā laika periodā.

Pēc zemāk redzamajā grafikā, aplūkot 24. un 26. bišu saimju temperatūras, var novērot citu ainu, ka ziemotavas iekšējās temperatūras svārstības nemaz neietekmē temperatūru bišu saimē. Tagad var secināt - ja bišu saime uztur augstu kamola temperatūru (ir sācies aktīvais perošanas process), tad mazas un īslaicīgas ārējās temperatūras svārstības neatstāj iespaidu uz bišu saimes uzvedību.

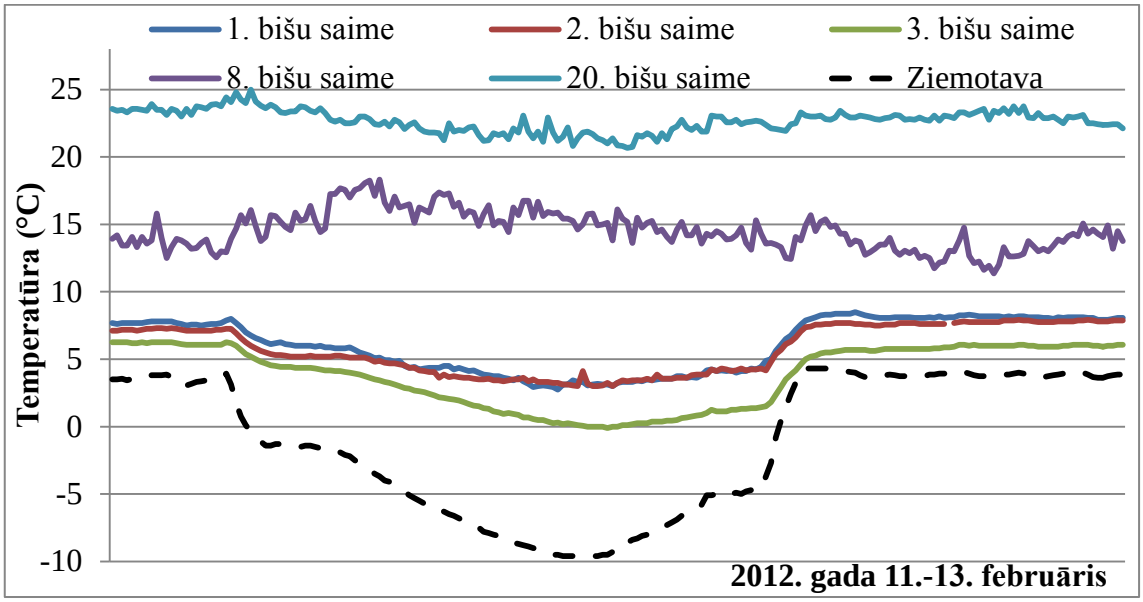


4.7. att. **Bišu saimju temperatūras reakcija uz ziemotavas temperatūras svārstībām (2010.-2011. ziemas periods). 18. saime atkārto ārējas temperatūras svārstības, kamēr 24. un 26. paliek stabilas neatkarīgi no ziemotavas temperatūras maiņas.**
Avots: Autora veidots attēls pēc eksperimentālajiem datiem.

Otrajā gadā (2011.-2012. ziemas periods), neskatoties uz to, ka sistēmas ieteicamā darbības temperatūra ir +5°C, tika pieņemts lēmums sākumā uz īsu laika periodu ziemotavas gaisa temperatūru pazemināt līdz +0°C, bet tad pilnīgi apturēt ziemotavas temperatūras vadības sistēmu (lai iekšējā temperatūra ziemotavā izlīdzinātos ar ārējo gaisa temperatūru).

Apskatot visu bišu saimju reakciju un uzvedību temperatūras pazemināšanas laikā, kā arī saimju uzvedību pēc temperatūras šoka, ir secināts, ka, ja bišu saime atrodas pasīvā stāvoklī (1., 2. un 3. bišu saimes), tad bišu saimes temperatūra krīt līdzīgi ziemotavas temperatūras kritumam. Bišu saimes temperatūras kritums netika novērots zemāk par +0°C, kas liecina, ka bišu saime ir dzīva. Savukārt, ja bišu saime jau atrodas

aktīvajā perošanas stadijā (8. un 20. bišu saimes), tad saimes temperatūra turpina turēties iepriekšējā līmenī un būtiski nesamazinās (skat. 4.8. att.):



4.8. att. **Bišu saimju temperatūras reakcija uz ziemotavas mikroklimata sistēmas atslēgšanu (2011.-2012. ziemas periods).**

Avots: Autora veidots attēls pēc eksperimentālajiem datiem.

4.6. Bišu saimju svēršanas eksperiments

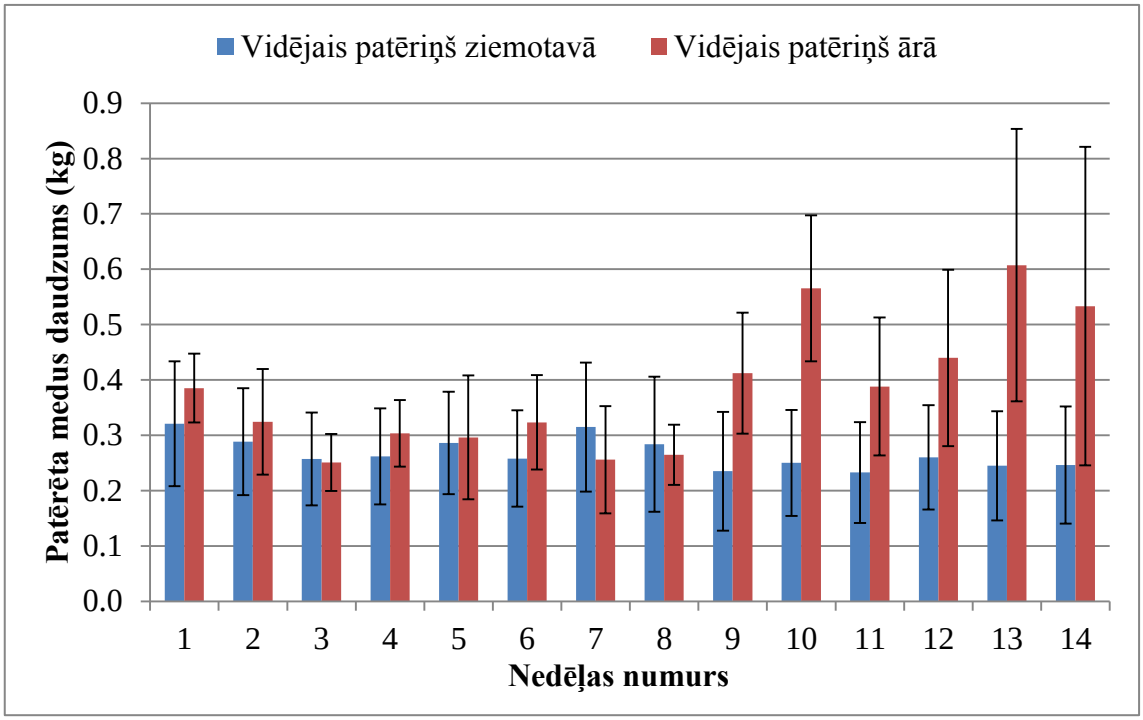
Darba autors kopā ar kolēģiem ir veicis bišu saimju svēršanu no 14.12.2011. līdz 21.03.2012. ik nedēļu vienā un tajā pašā laikā, lai reģistrētu saimes barības patēriņu vienādos laika posmos. Ir svērtas 20 ziemotavā ziemojošās saimes un 10 ārā ziemojošās saimes, kā arī pa vienam bišu stropam bez bitēm, bet ar barību ziemotavā un ārā, lai koriģētu ziemojošo saimju barības patēriņa aprēķinus, atrēķinot stropa masas izmaiņas, domājams, mitruma dēļ. Tas tika darīts, jo, balstoties uz ekspertu atziņām, ir atklāts, ka ziemotavā arī konstantas temperatūras apstākļos mainās mitrums, kas uzsūcas vai iztvaiko gan no koka, gan medus, un līdz ar to mainās bišu stropa masa. Samazinoties relatīvajam mitrumam, palielinās bišu stropa masas zudumi. Autors ir pieņēmis, ka mitruma izraisītais tukšā stropa masas zudums ir vienāds ar bišu apdzīvota stropa masas zudumiem. Masas mērījumiem tika izmantoti platformas svari *KERN IFS 120K1D* (maksimālais svars 120kg) ar ražotāja noteikto kļūdu 2g. Eksperimenta laikā ir apstiprinājies, ka tukšajā stropā masa nav pastāvīga, bet mainās laikā (skat. 4.1. tabulu):

4.1. tabula. **Masas izmaiņas (kg) tukšajā stropa ārā un ziemotavā 2011.-2012. ziemošanas periodā**

Nedēļas Nr.	Laika periods	Masas izmaiņa stropā ārā	Masas izmaiņa stropā ziemotavā
1	14.12.2011. - 20.12.2011.	+ 0.081	- 0.025
2	21.12.2011. - 27.12.2011.	- 0.023	- 0.030
3	28.12.2011. - 03.01.2012	+ 0.078	+ 0.005
4	04.01.2012. - 10.01.2012	+ 0.046	- 0.004
5	11.01.2012. - 17.01.2012	- 0.006	- 0.043
6	18.01.2012. - 24.01.2012	+ 0.013	- 0.029

Nedēļas Nr.	Laika periods	Masas izmaiņa stropā ārā	Masas izmaiņa stropā ziemotavā
7	25.01.2012. - 31.01.2012	- 0.157	- 0.161
8	01.02.2012. - 07.02.2012	- 0.021	- 0.128
9	08.02.2012. - 15.02.2012	+ 0.036	- 0.035
10	16.02.2012. - 22.02.2012	+ 0.018	+ 0.011
11	23.02.2012. - 29.02.2012	+ 0.023	+ 0.047
12	01.03.2012. - 07.03.2012	- 0.191	- 0.043
13	08.03.2012. - 14.03.2012	- 0.105	+0.000
14	15.03.2012. - 21.03.2012	+ 0.042	+ 0.019

Bišu stropa masas zudumi ziemošanas laikā ir mainīgi. Ārā ziemojošajām saimēm labi var novērot masas zudumu periodā no 08.02.2012., ko var izskaidrot ar strauju ārējās gaisa temperatūras samazināšanos un nepieciešamību saimei patērēt vairāk barības, lai uzturētu temperatūru. Zemāk dotaja attēlā var redzēt patērēta medus daudzumu ziemotavā un ārā ziemojošajām saimēm (skat. 4.9. att.):



4.9. att. **Patērēta medus daudzums ziemotavā un ārā saimēm 2011.-2012. ziemošanas periodā.**

Avots: Autora veidots grafiks pēc eksperimentālajiem datiem.

4.7. Bišu saimju temperatūras mērīšanas sistēmas darbības novērtējums

Eksperimentālajā darba laikā izveidotā temperatūras mērīšanas sistēma darbojas korekti, bet, lai varētu novērtēt sistēmas darbības precizitāti, ir nepieciešams veikt sistēmas darbības novērtējumu. Sistēmas pamatā ir temperatūras mērījumi, un tāpēc primāri ir saprast izmantoto sensoru precizitāti un ātrdarbību, kā arī novērtēt mērījumu kļūdas.

Lai izpildītu šo novērtēšanas uzdevumu, tika veikti eksperimentālie mērījumi, ar kuriem var novērtēt un noteikt temperatūras mērījumu nolasīšanas ātrumu, mērījumu precizitāti un kļūdas, salīdzināt temperatūras izkliedi ziemotavas telpā, salīdzināt dažādu mēriekārtu skaitliskos rādījumus (detalizēti aprēķini ir doti 2., 3. un 4. pielikumā).

- **Viena temperatūras sensora d18s20 relatīvās kļūdas novērtējums**

Pēc ražotāja datiem temperatūras sensora *d18s20* mērīšanas kļūda ir ±0.5°C. Lai novērtētu sensora precizitāti, tika ņemts 1 sensors ar mērķi noteikt temperatūru vienā telpas vietā vienā laika periodā, veicot 10 mērījumus, pieņemot, ka mērīšanas laikā ārējie apstākļi nemainās. Iegūtais korelācijas koeficients ir vienāds ar 1, kas nozīmē, ka pastāv ciešā korelācija starp mērījumiem. Pēc tā var secināt, ka sensora mērījumi ir ticami un rezultātu izkliede ir minimāla.

Eksperimentāli iegūtie rezultāti dod tikai aptuvenu nosakāmā fizikālā lieluma vērtību. Tie ir atkarīgi ne tikai no fizikālā lieluma patiesās vērtības, bet arī no mērīšanas metodes, no lietotajiem tehniskajiem līdzekļiem, no mērījumu izpildītāja īpašībām un citiem apstākļiem. Eksperimentāli noteikto fizikālā lieluma vērtību, kura tādā mērā tuvojas patiesajai vērtībai, ka izmantojama tās vietā, sauc par šī fizikālā lieluma reālo vērtību.

Starpību starp iegūto rezultātu x' un nosakāmā lieluma reālo vērtību x, t.i., lielumu x'-x, sauc par absolūtu kļūdu un apzīmē Δx. Absolūtās kļūdas attiecību pret lieluma reālo vērtību sauc par relatīvo kļūdu (apzīmē ε). To izsaka procentos:

$$\varepsilon = \frac{x' - x}{x} 100\% = \frac{\Delta x}{x} 100\% \qquad (3)$$

kur ε - relatīva kļūda;
x' - iegūtais rezultāts;
x - nosakāmā lieluma reālā vērtība;
Δx - absolūtā kļūda.

Apreķināta relatīvā kļūda demonstrē, ka mērījumu rezultāti ir stabili un atkārtojami, jo kļūda ir 2% robežās.

- **Vairāku temperatūras sensoru d18s20 relatīvās kļūdas novērtējums**

Pēc ražotāja datiem temperatūras sensora d18s20 mērīšanas kļūda ir ±0,5°C. Lai novērtētu sensora precizitāti, tika ņemti 10 sensori ar mērķi izmērīt temperatūru vienā telpas vietā vienā laika periodā, pieņemot, ka mērīšanas laikā ārējie apstākļi nemainās.

Tika veikti desmit mērījumi. Tad katram no sensoriem tika aprēķināta vidējā vērtība, jo ir zināms, ka katra atsevišķa sensora relatīvā kļūda ir 2%. Atkal pēc aprēķināšanas sistemātiskā kļūda ir lielāka par gadījuma kļūdu, tāpēc absolūtā kļūda ir vienāda ar sistemātisko un ir 2%. Šī metode norāda uz to, ka vairāku sensoru mērījumu rezultāti ir stabili un atkārtojami, jo kļūda ir 2% robežās, bet neliecina par rezultātu izkliedi.

Matemātiski pētot minimālo un maksimālo vērtību: Min = 11.61 un Max = = 12.14. Šie rezultāti norāda uz to, ka temperatūras vērtības var atšķirties 0.53 grādu robežās, kas ir ražotāja noteiktā kļūda.

- **Temperatūras sensora d18s20 nolasīšanas ātruma novērtējums**

Pēc ražotāja datiem temperatūras sensora d18s20 nolasīšanas ātrums ir 200 ms. Lai pārbaudītu nolasīšanas ātrumu, tika izveidota *C#* konsoles aplikācija, ar kuras palīdzību tika veikti mērījumi sekundēs ar dažādu sensoru skaitu.

Pēc rezultātiem var secināt, ka reālais sensora nolasīšanas ātrums ir mazāks nekā ražotāja noteiktais, bet to var izskaidrot ar to, ka laiks tiek rēķināts programmiski un netiek rēķināta pašas programmas ātrdarbība un datu atspoguļošana.

Veicot pētījumu, autora izstrādātajai temperatūras mērīšanas sistēmai (2011.-2012. ziemas periodā) bija pieslēgti 23 sensori.

23 sensoru nolasīšana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Laiks (s)	26	25.8	26.3	26.3	25.5	26	25.8	26.5	26.7	25.2

Pēc rezultātiem var secināt, ka šajā gadījumā ir iespējams nolasīt datus no sensoriem 2 reizes minūtē. Autora veiktajā pētījumā tāds nolasīšanas ātrums ir pilnīgi pietiekams, jo temperatūras izmaiņas bišu stropā nenotiek tik strauji.

- **Temperatūras izmaiņas ziemotavas telpā**

Mikroklimata vadības sistēmas darbība tika realizēta, ņemot vērā tikai viena sensora datus. Sensors tika izvietots pie silta gaisa recirkulācijas ventilatora. Ir nepieciešams pārbaudīt, cik lielā mērā temperatūra atšķiras vairākos ziemotavas punktos.

Tika veikti divi eksperimentālie mērījumi. Viens, kad mikroklimata vadības sistēma nedarbojas un otrs, kad sistēma darbojas un ziemotavas temperatūra ir +17.50°C.

Analizējot datus, var secināt, ka mērījumu izkliede ir 1°C robežās, kas, pieņemot, ka vairāku sensoru mērījumu atšķirībā 0.5°C būtiskās atšķirības sensora novietošanas vietās nav.

- **Dažāda veida temperatūras sensoru mērījumu salīdzinājums**

Tā kā sistēmas darbības laikā vadība tika balstīta uz *Siemens Sitrans TF2* temperatūras sensoru, bet rezultāti tika fiksēti, izmantojot *d18s20* sensoru, ir nepieciešams novērtēt, kāda ir šo divu sensoru veidu atšķirība mērījumu rezultātos. Tika veikti desmit mērījumi vienā telpas punktā vienā laika momentā (skat. 4.2. tabulu):

4.2. tabula. **Divu veida temperatūras sensoru mērījumu salīdzinājums (°C)**

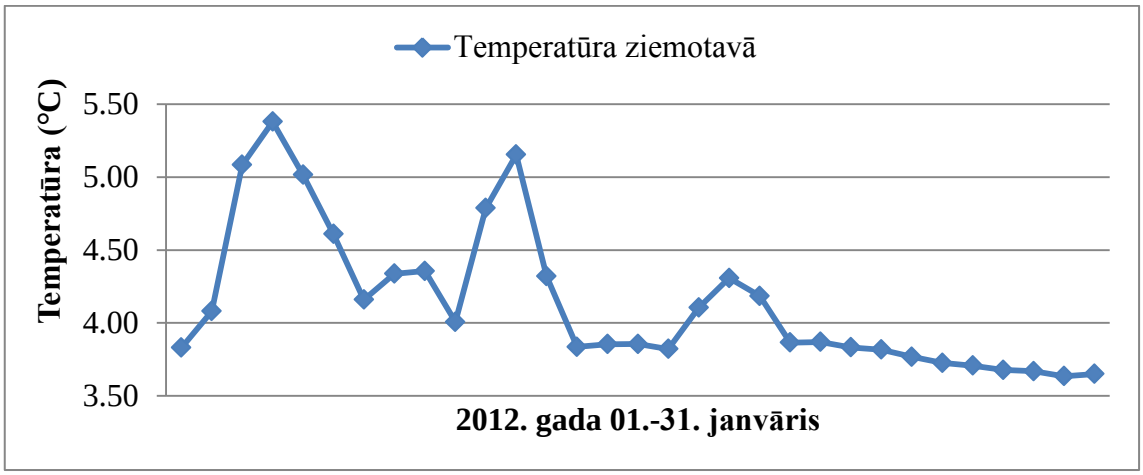
Sensora tips	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
d18s20 sensors	12.06	11.87	11.87	11.75	11.87	11.75	11.81	11.75	12.06	12.00
Siemens sensors	12.08	12.06	12.06	12.04	12.04	12.03	12.04	12.03	12.06	12.04
Starpība	0.02	0.19	0.19	0.29	0.17	0.28	0.23	0.28	0	0.04

Pēc iegūtiem mērījumiem var secināt, ka nav būtiskas atšķirības starp divu izvēlētu sensoru tipiem un *Siemens* sensora vērtības iekļaujas *d18s20* sensora rezultātos (ņemot vērā *d18s20* mērījuma kļūdas ±0.5°C).

4.8. Bišu ziemotavas siltumiekārtas jaudas aprēķins

Bišu ziemotavas temperatūras vadības sistēmu veido vairākas izpildiekārtas, bet par galveno ir uzskatams sildītājs, jo no tā jaudas ir atkarīgs, vai ziemotavā būs iespējams nodrošināt vajadzīgo mērķa temperatūru.

Promocijas darba autora veiktajos eksperimentos 2012. gadā bišu ziemotavas mērķa temperatūra ir +4°C. Pēc veiktajiem eksperimentiem ir redzams, ka izmantotā sildītāja iekārta spēja sasildīt telpu ziemas laikā (skat. 4.10. att.):



4.10. att. **Temperatūras dinamika bišu ziemotavā 2012.gada janvārī.**
Avots: Autora veidots attēls pēc eksperimentālajiem datiem.

Bet ir arī jāaprēķina teorētiski nepieciešamu iekārtas jaudu bišu ziemotavas sildīšanai.

Siltumiekārtas jaudas aprēķins sākās no ēkas siltumpatēriņu koeficenta QN aprēķina. Orientējošo aprēķinu var veikt, sareizinot telpas apkurināmo platību ar ēkas siltumpatēriņu. Ēkas aptuvenais siltumpatēriņš ir šāds:

- vecas ēkas bez siltumizolācijas – 120 W/m^2
- ēkas ar standarta siltumizolāciju - 80 W/m^2
- jaunbūve ar labu siltumizolāciju - 50 W/m^2

Bišu ziemotava ir aprīkota ar standarta 80mm siltumizolāciju un tāpēc atbilst 2. gadījumam. Bišu ziemotavas apkurināmā platība ir 25 m^2. Ēkas siltumpatēriņa koeficients ir vienāds ar: QN = 25 m^2 × 80 W/m^2 = 2000W = 2 kW.

Nākamajā aprēķinu etapā jāparedz laika periodi, kad siltumiekārta nedarbosies elektrības traucējumu vai citu apstākļu dēļ, tādējādi apsildāmā ēka pakāpeniski atdzisīs un būs nepieciešama papildu jauda, lai to sasildītu. Ziemotavā izmantotajā iekārta pēc ražotāja datiem drīkst darboties uz pilnu jaudu maksimāli tikai 40 sekundes no 60 sekundēm. Tās nozīmē, ka papildu nepieciešamā jauda ir jāpalielina par 33%.

Kopā aprēķins rāda, ka bišu ziemotavai ir nepieciešama iekārta ar slitumjaudu 2kW + 0.33 × 2 = 2.66 kW.

Bet šis aprēķins ir vienkāršots un ir tikai aptuvens, jo netiek ņemtas vērā āra un iekštelpas temperatūras starpības, kas ir būtisks aspekts iekārtas siltumjaudas aprēķinam.

Lai iegūtu precīzu iekārtas siltumjaudu, ir jāveic aprēķini.

$$N = \sum_{i=1}^{6} UiAi \times (T1 - T2) \quad (4)$$

kur N - iekārtas nepieciešamā siltumjauda (W);
Ui - būvelementa siltuma caurlaidības koeficients (W/m^{2}K);
Ai - būvelementa projektējamais laukums (m^2);
T1 - iekštelpu gaisa temperatūra (K);
T2 - āra gaisa maksimālā temperatūra (K).

Ziemotavas ēkas izmēri ir 6.25m × 4.00m × 2.4m. Virsmas siltuma caurlaidības koeficientus var ņemt no Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 002-01 "Ēku norobežojošo konstrukciju siltumtehnika". Koeficients griestiem, sienām un grīdai ir dažāds (skat. 4.3. tabulu):

4.3. tabula. **Siltuma caurlaidības koeficientu normatīvās vērtības**
(κ – temperatūras faktors)

Nr. p.k.	Būvelementi	Dzīvojamās mājas, pansionāti, slimnīcas un bērnudārzi	Publiskās ēkas, izņemot pansionātus, slimnīcas un bērnudārzus	Ražošanas ēkas
1.	Jumti un pārsegumi, kas saskaras ar āra gaisu	0.2 κ	0.25 κ	0.35 κ
2.	Grīdas uz grunts	0.25 κ	0.35 κ	0.5 κ
3.	Sienas:			
3.1.	ar masu mazāku nekā 100 kg/m^2	0.25 κ	0.35 κ	0.45 κ
3.2.	ar masu 100 kg/m^2 un vairāk	0.3 κ	0.4 κ	0.5 κ
4.	Logi, durvis un stiklotas sienas	1.8 κ	2.2 κ	2.4 κ
5.	Termiskie tilti yR	0.2 κ	0.25 κ	0.35 κ

Bet tabulā dotās normatīvās vērtības ziemotavas gadījumā var neatbilst reālajai situācijai, tāpēc ir nepieciešams U vērtības aprēķināt atsevišķi pēc formulas:

$$U = \frac{1}{\alpha + \frac{\delta}{\lambda}} \quad (5)$$

kur U - būvelementa siltuma caurlaidības koeficients (W/m^{2}K);
α - virsmas siltumatdeves koeficients (W/m^{2}K);
δ - plāksnes biezums (m);
λ - siltumvadītspējas koeficients, kas ir vienāds ar siltuma daudzumu, kas 1 s izplūst caur 1 m^2 lielu virsmu, ja temperatūras gradients ir 1 K/m.

Virsmas siltumatdeves koeficients un siltumvadītspējas koeficients tiek ņemts pēc standarta LVS EN ISO 6946.

U_{sienai} = 1 / (0.17+ 0.08 / 0.04) = 0.461 (W/m^{2}K)

U_{jumtam} = 1 / (0.14+ 0.08 / 0.04) = 0.467 (W/m^{2}K)

$U_{grīdai}$ = 1 / (0.21+ 0.08 / 0.04) = 0.452 (W/m^{2}K)

Tagad aprēķinām UiAi katrai ziemotavas ēkas sienai, griestiem un grīdai, ņemot par pamatu iepriekš veikto U vērtības aprēķinu:

U1A1 = 0.467×6.25×4=11.675 (W/K)

$U2A2$ = 0.452×6.25×4=11.3 (W/K)

$U3A3$ = 0.461×6.25×2.4=6.915 (W/K)

$U4A4$ = 0.461×6.25×2.4=6.915 (W/K)

$U5A5$ = 0.461×2.4×4=4.426 (W/K)

$U6A6$ = 0.461×2.4×4=4.426 (W/K)

$\sum_{i=1}^{6} UiAi$ = 11.675+11.3+6.915+6.915+4.426+4.426 = 45.657 (W/K)

Nepieciešamā gaisa temperatūra ziemotavā ir +4°C, bet gaisa gada minimālā temperatūra, kuras pārsniegšana iespējama reizi 10 gados, ir -32.5°C (balstoties uz Noteikumi par Latvijas būvnormatīvu LBN 003-01 "Būvklimatoloģija").

Tad T1-T2 = 36.5 (K)

Šajā gadījumā iekārtas siltumjaudai ir jābūt:

N = 45.657 × 36.5 = 1666.48 (W)

Nākamajā papildu aprēķinu etapā atkal ir jāparedz laika periodi, kad siltumiekārta nedarbosies elektrības traucējumu vai citu apstākļu dēļ.

N = 1666.48 + 1666.48 × 0.33 = 2216.419 (W)

Pēc ražotāja datiem ziemotavas sildītājam slitumjauda ir 3000 W, kas par nepilniem 734 W ir lielāka nekā teorētiski vajadzīga. Tas nozīmē, ka pie ārējās temperatūras -32.5°C, temperatūra iekšā sasniegs +4°C un nav nepieciešams izmantot papildu sildīšanas iekārtas.

4.9. Automatizētas bišu ziemotavas izmantošanas lietderības novērtēšana

Par bišu ziemotavas lietderību ir publicēti vairāki teorētiski pētījumi, kas cenšas ņemt vērā gan medus patēriņu, gan bišu saimju resursu ietaupījumu. Ir izveidota simulācijas programma *Powersim* 2.51 vidē, ar kuru ir iespējams mērīt ziemotavas lietderību atkarībā no temperatūras, kurā ziemo bišu saime (Stalidzans, 2005).

Neņemot vērā ietaupāmo medus daudzumu un bišu resursu ekonomiju bišu saimju ziemināšanai specializētā bišu ziemotavā, ir vairākas priekšrocības salīdzinājumā ar tradicionālu ziemināšanas praksi. Pirmkārt, bišu saimēm tiek nodrošināti labvēlīgi apstākļi visu ziemošanas periodu, bez lielām ārējām temperatūras svārstībām. Otrkārt, bišu ziemošanas process kļūst pārskatāms un uzraugāms. Treškārt, bišu saimes ir pasargātas no grauzējiem un putniem. Viens veids, kā novērtēt šīs pieejas lietderīgumu, ir paskatīties uz bišu saimes stiprumu un attīstību pavasarī pēc ziemas perioda. Diemžēl novērtēt skaitliski, cik daudz medus ienesīgums ir vienai saimei, ir gandrīz neiespējami, jo nektāra vakšanans procesā saimes var tikt apvienotas vai sadalītas. Šādiem novērojumiem būtu nepieciešami plašāki eksperimenti. Var novērtēt, cik daudz peru ir saimēm pavasarī, kas liecinātu par saimes attīstību. Peru skaitīšana ir sarežģīta un visai aptuvena procedūra. Autora gadījumā peri tika rēķināti 2012. gada 21. aprīlī. Pēc biškopības speciālistu aprēķiniem ziemotavā pārziemotajām saimēm peru daudzums, ir pilnīgi pietiekams. Zemāk ir dots peru skaits vairākām saimēm, kur to bija iespējams noteikt:

Saimes Nr.	1	5	6	8	9	11	12
Peru daudzums	16619	13044	13353	11612	10290	14820	15865

Pēc biškopības atziņām, ja peru daudzums ir vairāk par 10000, tas liecina par stipru un labi pārziemojušu saimi.

Tātad var secināt, ka bišu saimju ziemināšana ziemotavā nekaitē bišu saimēm, bet labvēlīgi ietekmē to attīstību.

4.10. Kompleksas sistēmas komerciālas ieviešanas lietderības analīze

Promocijas darba ietvaros realizētā kompleksā sistēma tika izstrādāta, izmantojot fakultātē pieejamos tehniskos līdzekļus un aprīkojumu, tāpēc izmaksu ziņā tas nemaz nav lētākais risinājums.

Izmaksas var sadalīt četrās daļās: ēkas būvēšanas izmaksas, mikroklimata vadības sistēmas izstrādes izmaksas, bišu saimes temperatūras mērīšanas sistēmas izstrādes izmaksas un sistēmas darbināšanas izmaksas (galvenokārt elektrības patēriņš).

Autora izstrādātās eksperimentālās ziemotavas vadības sistēmas kopējās izstrādes izmaksas ir 14148.00 LVL (neiekļaujot PVN):

- ziemotavas ēka – ēka tika pasūtīta pie sendviča paneļu ražotāja un kopā ar piegādi un uzstādīšanu izmaksāja 11000.00 LVL;

- iekšējā mikroklimata vadības sistēma:
  - sildītājs kopā ar recirkulācijas ventilatoru izmaksāja 670.00 LVL;
  - dzesēšanas ventilators – 269.00 LVL;
  - svaiga gaisa ventilators – 28.00 LVL;
  - temperatūras sensors Sitrans TF2 – 150.00 LVL (sistēmā tiek lietoti 2 gabali);
  - PLK vadības sistēma – 562.00 LVL;
  - autonomā dzesēšanas sistēma – 900.00 LVL;

- bišu saimju temperatūras mērīšanas sistēma:
  - viena temperatūras sensora *d18s20* cena ir 3.00 LVL (sistēmā tika izmantoti 23 sensori, izmaksas ir 69.00 LVL);
  - interfeisa iekārtas Temp08 cena ir 50.00 LVL;

- datu saglabāšanai ir nepieciešams dators – izmaksas ir atkarīgas no datora specifikācijas (sākot no 100.00 LVL);
- visu papildmateriālu izmaksas (vadi, kabeļi utt.) – 200.00 LVL.

Autoru izstrādātās sistēmas darbināšanas (elektrības) izmaksas ziemas periodā (laikā no 12.12.2011 līdz 12.03.2012) ir 160.00 LVL (pieņemot, ka maksa par 1kW elektroenerģijas ir 0.10 LVL). 4.4. tabula atspoguļo ziemotavas elektrības patēriņu pa nedēļām.

4.4. tabula. **Ziemotavas elektrības patēriņš pa nedēļām (kWh)**

Nedēļas Nr.	Laika periods	Patēriņš (kWh)	Nedēļas Nr.	Laika periods	Patēriņš (kWh)
1	21.12.11-28.12.11	86	7	01.02.12-08.02.12	350
2	28.12.11-04.01.12	72	8	08.02.12-15.02.12	160
3	04.01.12-11.01.12	67	9	15.02.12-22.02.12	120
4	11.01.12-18.01.12	89	10	22.02.12-29.02.12	75
5	18.01.12-25.01.12	86	11	29.02.12-07.03.12	96
6	25.01.12-01.02.12	250	12	07.03.12-14.03.12	84

Sistēmas darbināšanas izmaksas (elektroenerģijas) atmaksāsies ja ziemā ies bojā 3 bišu saimes (vienas bišu saimes tirgus vērtība cena ir 55.00 LVL). Pēc aptaujas rezultātiem vidēji ziemā iet bojā 20% no kopējā bišu saimju skaita. Tas nozīmē, ka, ja biškopim ir virs 15 bišu saimēm, lietot ziemotavu jau ir ekonomiski izdevīgi, neņemot vērā iekārtu un vadības sistēmas ierīkošanas izmaksas. Proti, ja biškopim vēl nav atbilstošas telpas, kur varētu ziemināt bišu saimes, tad spriest par ekonomisko izdevumu var tikai pie nosacījuma, ja tas ir liels profesionālais biškopis ar vismaz 100 bišu saimēm, kad telpas būvniecības izmaksas varētu atmaksāties ilgtermiņā. Praktiski autora izmantoto mikroklimata vadības sistēmu var aizvietot ar speciālo siltumsūkni, kas izmaksas daudz mazāk.

Autors savu veikto zinātnisko pētījumu ir mēģinājis pārcelt uz biznesa idejas realizāciju. 2011. gadā autors piedalījās biznesa ideju konkursā „Ideju kauss 2011” ar ideju „Specializēta automatizēta ēka bišu ziemošanai piemērotu apstākļu nodrošināšanai”. „Ideju kauss” ir biznesa ideju konkurss, kas dod iespēju ikvienam pilngadīgam Latvijas iedzīvotājam īstenot savu biznesa ideju un iegūt biznesa uzsākšanai nepieciešamās prasmes, pieredzi, kontaktus un finansējumu. Konkursa mērķis ir veicināt jaunu uzņēmumu veidošanos un sekmēt Latvijas ekonomikas attīstību un izaugsmi (http://idejukauss.lv/node/16). Gala rezultātā autora ideja iekļuva konkursa otrajā kārtā, kur tika novērtēta ar 56 punktiem no 100 iespējamiem.

2012. gadā autors piedalījās biznesa ideju konkursā „Ideju kauss 2012” ar ideju „Automatizētā bišu saimes temperatūras uzraudzības sistēma”. Gala rezultātā autora ideja iekļuva konkursa otrajā kārtā, kur tika novērtēta ar 72 punktiem no 100 iespējamiem.

Vēl viens mēģinājums bija dalība televīzijas sacensībās „Firmas noslēpums”, ar ideju „Specializēta automatizēta ēka bišu ziemošanai” (http://www.db.lv/firmas-noslepums/ideju-vertesana/specializeta-automatizeta-eka-bisu-ziemosanai-piemerotu-apstaklu-nodrosinasanai-249039). Jauno uzņēmēju sacensības “Firmas noslēpums” mērķis ir parādīt Latvijas biznesa potenciālu un, atspoguļojot biznesa uzsākšanas procesu no idejas līdz gatavam biznesa plānam, iedrošināt arī citus uzsākt savu uzņēmējdarbību. Sacensības organizē Latvijas Investīciju un attīstības aģentūra sadarbībā ar HansaMedia, galvenie atbalstītāji ir SEB banka un Lattelecom (http://www.firmasnoslepums.lv/). Autora priekšnesumu pozitīvi novērtēja 4 no 5 žūrijas locekļiem, bet gala rezultātā ideja neiekļuva lielajā finālā un palika kā pirmā zem svītras.

Balstoties uz autora veikto pētījumu par bišu ziemošanu, izstrādātā vadības un uzraudzības sistēma pašlaik tiek komerciāli piedāvāta Latvijas tirgū ar SIA „TIBIT" starpniecību.

Nodaļas secinājumi

Eksperimentālais darbs ir veikts LLU bišu ziemotavā trīs ziemās (2010-2013), uzraugot un vadot bišu saimju ziemošanas procesu. Ziemināšanas laikā tika mērīta temperatūra virs ligzdas 20 eksperimentālajām saimēm ziemotavā un 10 kontrolgrupas saimēm ārā ar intervālu 15 minūtes. Reizi nedēļā visas saimes tika svērtas. Ziemotavā un ārpus tās tika mērīta arī gaisa temperatūra un relatīvais mitrums. Ir noteikta bišu saimju temperatūras mērsistēmas precizitāte.

Bišu ziemotavas temperatūras paaugstināšana/pazeminināšana veicina/kavē aktīvas peru audzēšanas uzsākšanu saimēs veicinot vēlamā bišu skaita sasniegšanu plānotā ienesuma laikā.

Gan ziemotavā, gan ārā izvietotie kontrolstropi ar barību, bet bez bitēm demonstrē relatīvā mitruma būtisko ietekmi uz stropa svara izmaiņām gan ziemotavā, gan ārā.

Pazeminoties āra temperatūrai, salīdzinot ar mērķa temperatūru ziemotavā, būtiski samazinās gaisa relatīvais mitrums ziemotavā.

Pēc bišu saimes temperatūras mērījumiem ir iespējams secināt par bišu saimes bojāeju un bišu saimes aktīvās perošanas procesa uzsākšanu.

SECINĀJUMI

Galvenie darba rezultāti

Ir uzlabota precīzās lauksaimniecības pieejas realizācija, izmantojot vairāku matemātisko modeļu sadarbību daudzobjektu biosistēmu datorvadībā.

1. *Ir izanalizētas sensoru tīklu un datorvadības realizācijas biosistēmu vadībā un precīzajā lauksaimniecībā.*

Biosistēmu datorvadības sistēmās tiek izmantotas dažādas sensoru tīklu konfigurācijas, komunikācijas tehnoloģijas un enerģijas apgādes veidi atkarībā no pielietojuma vides un citām īpatnībām.

Precīzās lauksaimniecības metodes ir lietojamas, risinot lauksaimniecības efektivitātes uzlabošanas uzdevumus vairākās lauksaimniecības nozarēs, piemēram, vīnkopībā, lopkopībā, dārzkopībā un citās. Tomēr ne visās nozarēs ir izstrādāti precīzās lauksaimniecības lietošanas principi un metodes.

No PL ieviešanai nepieciešamajām trim fāzēm – datu ieguve, datu analīze un vadības realizācija, visvairāk PL adaptāciju un attīstību ierobežo datu analīze.

2. *Ir izanalizēti automatizētas vadības sistēmu izstrādes pamatprincipi biosistēmu vadībai.*

Risinot bioloģiskā procesa vadības uzdevumus, plaši tiek lietotas adaptīvas vadības sistēmas, jo vadības realizācijas sekas nav droši prognozējamas. Ierobežotas prognozējamības iemesls ir bioloģisko procesu nelineārā dinamika un nepilnīgas zināšanas par biosistēmām, kā arī procesu dinamiskajiem parametriem. Galvenā adaptācijas principa priekšrocība ir pielāgošanās spēja iepriekš nezināmām izmaiņām nestacionārā vadības objektā, kas dod iespēju nodrošināt augstu sistēmas darbības kvalitāti mainīgos darba vides apstākļos.

Izplatīta automātiskās vadības iekārta bioloģiskiem procesiem piemērotā vidē ir programmējamais loģiskais kontrollers jeb PLK.

3. *Ir izstrādāta uz modeļiem balstīta automatizētas datorvadības sistēmas arhitektūra biosistēmas vadībai.*

Dažādām PL variācijām piemērota vadības sistēmu arhitektūras literatūra nav atrasta, jo autori parasti piedāvā noteiktas problēmas risinājumu, nekoncentrējoties uz arhitektūras problemātiku. Autora izstrādātā uz modeļiem balstītā attālinātā automatizētā bioloģisko objektu vadības sistēmas arhitektūra ļauj unificēt sistēmu veidošanas procesu, ņemot vērā visiem bioloģiskajiem objektiem kopīgās īpašības.

Modeļu lietošanas izmantošana vadības sistēmā nosaka nepieciešamība ar modeļu palīdzību izvērtēt procesa līdzšinējo progresu un tā attīstības prognozes vadības iedarbju realizācijā. Vadības sistēmai jābūt *attālinātai*, lai rastos iespēja centralizēti vadīt dažādās vietās lokalizētu daudzobjektu bioloģiskās sistēmas vadību. Komplicētas biosistēmas vadības datorvadības sistēmai būtu jābūt *automatizētai*, nevis automātiskai, lai dotu iespēju nozares speciālistam apstiprināt vai noraidīt lēmumu atbalsta sistēmu piedāvātos risinājumus.

4. *Ir izstrādāta individuālo bioloģisko objektu uzraudzības un vadības sistēma precīzas datorvadības realizācijai bišu ziemināšanas procesā.*

Darba gaitā ir realizēta uz modeļiem balstīta, attālināta, automatizēta datorvadības sistēma precīzās biškopības principu realizācijai bišu saimju ziemotavā ar vadāmu ziemotavas temperatūru, balstoties uz temperatūras mērījumiem bišu saimēs.

Bišu ziemošanas laikā lēmuma atbalsta sistēma ir nepieciešama, lai biškopis varētu pieņemt uz reāla laika un vēsturisku datu analīzi balstītu lēmumu par ziemošanas procesa vadību.

5. *Ir eksperimentāli novērtēta izveidotās sistēmas pielietojamība bišu saimes stāvokļa novērtēšanai un vadībai ziemināšanas procesā.*

Eksperimentālais darbs ir veikts LLU bišu ziemotavā trīs ziemās (2010.-2013.), uzraugot un vadot bišu saimju ziemošanas procesu. Ziemināšanas laikā tika mērīta temperatūra virs ligzdas 20 eksperimentālajām saimēm ziemotavā un 10 kontrolgrupas saimēm ārā ar intervālu 15 minūtes. Reizi nedēļā visas saimes tika svērtas. Ziemotavā un ārpus tās tika mērīta arī gaisa temperatūra un relatīvais mitrums. Ir noteikta bišu saimju temperatūras mērsistēmas precizitāte.

Bišu ziemotavas temperatūras paaugstināšana/pazeminināšana veicina/kavē aktīvas peru audzēšanas uzsākšanu saimēs, veicinot vēlamā bišu skaita sasniegšanu plānotā ienesuma laikā.

Secinājumi un attīstības perspektīvas

- Izstrādāta uz mērsistēmu kombinēta lietojuma ieguvumu/izdevumu analīzi balstīta PL sistēmu ieviešanas novērtēšanas formāla metode, kas ļauj novērtēt mērsistēmas ieviešanas atmaksāšanās laiku.
- Adaptējot PL pieeju biškopībā, ir definēta precīzā biškopība (PB), kas ir dravas vadības stratēģija, balstoties uz individuālās bišu saimes uzraudzību ar mērķi minimizēt bišu saimes resursu patēriņu un maksimizēt bišu produktivitāti.
- Realizējot precīzo biškopību, veiktos mērījumus ir iespējams iedalīt trīs kategorijās: dravas līmenis, saimju līmenis un individuāls bišu līmenis.
- Pēc bišu saimes temperatūras mērījumiem var attālināti atpazīt saimes miršanas gadījumu.
- Bišu saimes temperatūra zem 10°C liecina par saimes atrašanos kamolā.
- Pazeminoties āra temperatūrai, salīdzinot ar mērķa temperatūru ziemotavā, būtiski samazinās gaisa relatīvais mitrums ziemotavā, kas ietekmē saimju svēršanas rezultātus. Tādēļ ir jāņem vērā kontroles stropa ar barību, bet bez bitēm izmaiņas masas maiņas koriģēšanai.
- Bišu saimes barības patēriņš ziemotavā visu ziemošanas periodu ir 200 līdz 300 g nedēļā neatkarīgi no āra apstākļiem.

Kā **attīstības perspektīvas** var iezīmēt vairākus darbības virzienus.

- Izanalizēt iespēju precīzas lauksaimniecības pieeju adaptēt citam lauksaimniecības un biosistēmas vadības lietojumiem.
- Izmantot izstrādāto arhitektūru citu biosistēmu datorvadībai.
- Bišu ziemošanas vadības uzlabošanai ir jāveic citi eksperimenti, lai noteiktu papildu mikroklimata parametru iekļaušanas lietderību vadības sistēmā.
- Turpināt attīstīt precīzās biškopības realizāciju visā bišu saimes dzīves ciklā.
- Izveidot jaunus objekta uzvedības un stāvokļa matemātiskos modeļus.
- Papildinot izstrādāto sistēmu un datora aplikācijas, būtu nepieciešams izveidot datu apmaiņas mehānismu starp vairākiem biškopjiem ar mērķi salīdzināt reālā laika datus par vairākām bišu saimniecībām, lai biškopis varētu secināt, vai uzvedības īpatnības ir raksturīgas tikai viņa saimniecībai vai plašākam reģionam.

PATEICĪBAS

Promocijas darba autors izsaka visslielāko pateicību sava darba zinātniskajam vadītājam LLU asociētajam profesoram, ITF vadošajam pētniekam Egilam Stalidzānam.

Paldies, arī Latvijas Lauksaimniecības universitātes Tehniskās fakultātes asociētajam profesoram Aivaram Kaķītim un Dr.sc.ing. Vitālijam Osadčukam par vērtīgajiem ierosinājumiem promocijas darba uzlabošanai, komentāriem un konstruktīvu kritiku.

Paldies kolēģiem no Informācijas tehnoloģiju fakultātes par padomiem un palīdzību praktiskā darba realizācijā.

Paldies Valteram Brusbārdim par konsultācijām biškopības jautājumos.

Paldies Eiropas Sociālā fonda projektam „Atbalsts LLU doktora studiju īstenošanai". Vienošanās Nr. 2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017.

Darba autors izsaka pateicību arī savai ģimenei par morālo atbalstu rakstot promocijas darbu.

LITERATŪRAS SARAKSTS

Ahonen, T., Virrankoski, R. (2008) Greenhouse monitoring with wireless sensor network. In: *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Xian, China, p. 403–408.

Alguliev, R.M., Fataliev, T.H., Agaev, B.S., Aliev, T.S. (2007) Sensornie seti: sostojanie, reshenija i perspektivi. *Telekomunikacii*, Vol. 4, p. 27–33.

Alves-Serodio, C., Monteiro, J. (1998) An integrated network for agricultural management applications. In: *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, p. 679–683.

Ambrose, J. (1992) Management for honey production. In: *The Hive and the Honey Bee*, J. Graham (ed.) Hamilton, Illinois: Dadant and Sons, p. 230–257.

Antamonov, J.G. (1977) *Modelirovanije biologičeskih sistem*. Kiev: Naukova Dumka. 260 p.

Anthony, R. (1965) *Planning and Control Systems: a Framework for Analysis*. Harvard University Graduate School of Business Administration. 180 p.

Arvanitis, K., Paraskevopoulos, P. (2000) Multirate adaptive temperature control of greenhouses. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 26, p. 303–320.

Ārgalis, J. et al. (1970) *Biškopība*. Riga: Zvaigzne. 488 lpp.

Baronti, P., Pillai, P., Chook, V. (2007) Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. *Computer Communications*, Vol. 30(7), p. 1655–1695.

Bastin, G., Dochain, D. (1990) *On-line Estimation and Adaptive Control of Bioreactors*. Amsterdam: Elsevier. 379 p.

Baums, A., Cipa, A., Redjko, V., Zaznova, N. (2004) Reallaika un precizitates jautajumi "1-Wire" daudzsensoru sistemas. *Scientific Proceedings of Riga Technical University, Computer Science*, Vol. 19, p. 42–46.

Baums, A., Zaznova, N., Redjko, V. (2007) Augu māju temperatūras un relatīvā mitruma monitoringa sistēmu izstrāde. *Rīgas Tehniskās universitātes zinātniskie raksti*, Vol. 32, lpp. 77–83.

Bencsik, M., Baxter, M., Lucian, A., Romieu, J., Millet, M. (2011) Identification of the honey bee swarming process by analysing the time course of hive vibrations. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 76(1), p. 44–50.

Berckmans, D. (2004) Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming. In: *International Congress on Animal Production in Europe*, Saint-Malo, France, p. 27–30.

Berckmans, D., Goedseels, V. (1986) Development of new control techniques for the ventilation and heating of livestock buildings. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Vol. 33(1), p. 1–12.

Berger, H. (2009) *Automating with SIMATIC*. 4th revise. Publicis publishing. 240 p.

Bongiovanni, R., Lowenberg-DeBoer, J. (2004) Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture*, Vol. 5, p. 359–387.

Bramley, R., Hamilton, R. (2004) Understanding variability in winegrape production systems. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, Vol. 10(1), p. 32–45.

Brennan, S., Mielke, A., Torney, D. (2004) Radiation detection with distributed sensor networks. *IEEE Computer Society*, Vol. 37(8), p. 57–59.

Brikman, M.S. (1982) *Metod prostranstva sostojanij v sovremennoj teorii upravlenija*. Riga: RPI. 53 p.

Burrell, J., Brooke, T. (2004) Vineyard computing: Sensor networks in agricultural production. *Pervasive Computing, IEEE*, Vol. 3, p. 38–45.

Campbell, J., Mummert, L., Sukthankar, R. (2008) Video Monitoring of Honey Bee Colonies at the Hive Entrance. *Visual Observation and Analysis of Animal and Insect Behavior, ICPR*, Vol. 8, p. 1–4.

Carrilo, S.R., Zayos, H.D. (1999) Reflections on the contemporary problems and the changes in the environment and the beekeeping. *Apiacta XXXIV*, p. 117–121.

Chao, K., Gates, R.S. (1995) Diagnostic hardware/software system for environment controllers. *Transactions of the ASAE*, Vol. 38, p. 939–947.

Chao, K., Gates, R.S. (1996) Design of switching control systems for ventilated greenhouses. *Transactions of the ASAE*, Vol. 39, p. 1513–1523.

Chao, K., Gates, R.S. (2000) Fuzzy logic controller design for staged heating and ventilating systems. *Transactions of the ASAE*, Vol. 43, p. 1885–1894.

Chavuenet, W. (1960) *A Manual of Spherical and Practical Astronomy*. Dover, NY.

Chong, C., Kumar, S.P. (2003) Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 91(8), p. 1247–1256.

Chuda-Mickiewicz, B., Prabucki, J. (1996) Temperature in winter cluster bee colony wintering in a hive of cold comb arrangement. *Pszczelnicze Zestyty Naukowe*, Vol. 40(2), p. 71–79.

Cipkin, J.Z. (1977) *Osnovi teorii avtomaticheskih sistem*. Nauka. 560 p.

Conradt, L., Roper, T.J. (2005) Consensus decision making in animals. *Trends in Ecology and Evolution*, Vol. 20(8), p. 449–56.

Courtney, J., Paradice, D.B. (1993) Studies in managerial problem formulation systems. *Decision Support Systems*, Vol. 9, p. 413–423.

Cugati, S., Miller, W. (2003) Automation concepts for the variable rate fertilizer applicator for tree farming. In: *The Proceedings of the 4th European Conference in Precision Agriculture*, Berlin, Germany, p. 14–19.

Culler, D., Estrin, D., Srivastava, M. (2004) Overview of sensor networks. *IEEE Computer Society*, Vol. 31(8), p. 41–49.

Damas, M., Prados, A.M., Gomez, F., Olivares, G. (2001) HidroBus® system: fieldbus for integrated management of extensive areas of irrigated land. *Microprocessors and Microsystems*, Vol. 25, p. 177–184.

Daskalov, P., Arvanitis, K., Pasgianos, G. (2006) Non-linear adaptive temperature and humidity control in animal buildings. *Biosystems*, Vol. 93(1), p. 1–24.

Denisenko, V. (2009) *Kompjuternoe upravlenie tehnologicheskim processom, eksperimentom, oborudovaniem*. Gorjachaja linija – Telekom. 608 p.

Dietlein, D.G. (1985) A method for remote monitoring of activity of honeybee colonies by sound analysis. *Journal of Apicultural Research*, Vol. 24(3), p. 176–183.

Dirvens, I. (2011) *Bišu saimes lieluma dinamikas modelēšanas lietojumprogrammas BeeCount izstrāde*. Jelgava, Latvia: LLU. 52 lpp.

Dochain, D., Vanrolleghem, P. (2001) *Dynamical Modelling and Estimation in Wastewater Treatment Processes*. IWA Publishing. 343 p.

Dukulis, I. (2011) Lekcijas TF Lauksaimniecības enerģētikas studiju programmas un TF 1. līmeņa profesionālās augstākās izglītības studiju programmas Tehniskais Eksperts studentiem "Inženierdarba pamatos".

Dunham, W. (1926) Hive temperatures for each hour of a day. *Ohio Journal of Science*, p. 181–188.

Elsts, A., Balass, R., Judvaitis, J., Selavo, L. (2012) SAD: wireless sensor network system for microclimate monitoring in precision agriculture. In: *Applied Information and Communication Technologies*, p. 271–281.

Eskov, E.K., Toboev, V.A. (2009) Mathematical modeling of the temperature field distribution in insect winter clusters. *Biophysics*, Vol. 54(1), p. 85–89.

Eskov, E.K., Toboev, V.A. (2010) Analysis of statistically homogeneous fragments of acoustic noises generated by insect colonies. *Biophysics*, Vol. 55(1), p. 92–103.

Eskov, E.K., Toboev, V.A. (2011) Seasonal dynamics of thermal processes in aggregations of wintering honey bees (Apis mellifera, Hymenoptera, Apidae). *Entomological Review*, Vol. 91(3), p. 354–359.

Evans, R., Bergman, J. (2003) Relationships between cropping sequences and irrigation frequency under self-propelled irrigation systems in the Northern Great Plains (NGP). *USDA Annual Report*.

Fahrenholz, L., Lamprecht, I., Schricker, B. (1989) Thermal investigations of a honey bee colony: thermoregulation of the hive during summer and winter and heat production of members of different bee castes. *Journal of Comparative Physiology. B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, Vol. 159(5), p. 551–560.

Ferrari, S., Silva, M., Guarino, M., Berckmans, D. (2008) Monitoring of swarming sounds in bee hives for early detection of the swarming period. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 64(1), p. 72–77.

Fingler, B., Small, D. (1982) Indoor wintering in Manitoba. *The Manitoba Beekeeper Fall*, p. 7–20.

Furgala, B., McCutcheon, D.M. (1992) Wintering productive colonies. In: *The Hive and the Honey Bee*, p. 829–869.

Galiņš, A., Leščevics, P. (2008) *Programmējamie loģiskie kontrolleri*. Jelgava, Latvia: LLU. 135 lpp.

Gardner, J., Varadan, V. (2001) *Microsensors, MEMS, and Smart Devices*. New York: Wiley. 117 p.

Gates, R.S. (1991) Field evaluation of integrated environmental controllers. *Paper-American Society of Agricultural*, p. 26.

Gauthier, J., Kupka, I. (1994) Observability and observers for nonlinear systems. *SIAM Journal on Control and Optimization*, Vol. 34(4), p. 975–994.

Gomide, R., Inamasu, R., Queiroz, D. (2001) Data acquisition and control mobile laboratory network for crop production systems data management and spatial variability studies in the Brazilian center-west region. In: *ASAE Annual International Meeting*, p. 1–8.

Gorry, G., Morton, M. (1971) A framework for management information systems. *Sloan Management Review*, Vol. 13(1), p. 50–70.

Hansen, J. (1998) Field specific and regional warning for development of potato late blight. In: *Proceedings from Workshop: European Network for Dvelopment of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight*, p. 125–136.

Hansen, J., Andersson, B. (1995) NEGFRY-A system for scheduling chemical control of late blight in potatoes. In: *Proceedings of the EAPR Phytophtora 150 Sesquitentennial Scientific Conference*, Dublin, Ireland, p. 201–208.

Holjushkin, J.P., Grazhdannikov, E.D. (2000) Sistemnaja klassifikacija arheologicheskoj nauki [online] [accessed 30.08.2011] Available at: http://www.sati.archaeology.nsc.ru/Home/pub/index.html.

Human, H., Nicolson, S.W., Dietemann, V. (2006) Do honeybees, Apis mellifera scutellata, regulate humidity in their nest? *Die Naturwissenschaften*, Vol. 93(8), p. 397–401.

Jeskov, J.K. (1983) *Mikroklimat pcelinogo zilischa*. Moscow: Rosselhozizdat. 191 p.

Jones, P., Jones, J., Jr, L.A. (1984) Dynamic computer control of closed environmental plant growth chambers. Design and verification. *Transaction of ASAE.*, Vol. 27, p. 879–888.

Kleinhenz, M., Bujok, B., Fuchs, S., Tautz, J. (2003) Hot bees in empty broodnest cells: heating from within. *Journal of Experimental Biology*, Vol. 206(23), p. 4217–4231.

Klimavičius, V. (2002) *Automātiskā vadība*. Rīga, RTU. 233 lpp.

Klir, Z. (1990) *Sistemotologija. Avtomatizacija reshenija sistemnih zadach*. Moscow: Radio i svjazj. 544 p.

Kraus, B., Velthuis, H.H.W. (1997) High Humidity in the Honey Bee (Apis mellifera L.) Brood Nest Limits Reproduction of the Parasitic Mite Varroa jacobsoni Oud. *Naturwissenschaften*, Vol. 84(5), p. 217–218.

Kristapsons, Ē., Stalidzāns, E., Bērzonis, A., Kaķītis, A. (1996) Racionālas bišu saimju ziemotavas. *Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti*, Vol. 6, lpp. 94–101.

Lea-Cox, J., Ristvey, A. (2007) A low-cost multihop wireless sensor network, enabling real-time management of environmental data for the greenhouse and nursery industry. *System Management*, p. 1–8.

Lees, M.J., Taylor, J., Chotai, A., Young, P. (1994) Design and implementation of a proportional-integral-plus (PIP) control system for temperature, humidity and carbon dioxide in a glasshouse. In: *Workshop: Mathematical & Control Applications in Agriculture & Horticulture 406*, p. 115–124.

Li, L., Zhang, Y.., Wang, M.., Zhang, M. (2007) Communication Technology for Sustainable Greenhouse Production. *Transactions of the Chinese Society for Agriculture*, Vol. 38(2), p. 57–61.

Lieth, J., Burger, D. (1989) Growth of chrysanthemum using an irrigation system controlled by soil moisture tension. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Vol. 114, p. 387–397.

Liu, C., Leonard, J.J., Feddes, J.J. (1990) Automated monitoring of flight activity at a beehive entrance using infrared light sensors. *Journal of Apicultural Research*, Vol. 29(1), p. 20–27.

Liu, G. (2003) Application of Bluetooth technology in greenhouse environment, monitor and control. *Journal of Zhejiang University*, Vol. 29, p. 329–334.

Liu, H., Meng, Z. (2007) A wireless sensor network prototype for environmental monitoring in greenhouses. In: *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing Conference*, p. 2344 – 2347.

Luo, H., Zhang, X., Liu, E., Qiao, X. (2006) The design of wireless sensor in greenhouse environment measurement. *Sensor World*, Vol. 12(5), p. 45–48.

Mahan, J., Wanjura, D. (2001) Upchurch, design and construction of a wireless infrared thermometry system. *The USDA Annual Report*.

Mancuso, M., Bustaffa, F. (2006) A wireless sensors network for monitoring environmental variables in a tomato greenhouse. In: *6th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems*, Torino, Italy, p. 107–110.

Mangold, S., Choi, S., May, P. (2002) IEEE 802.11 e Wireless LAN for Quality of Service. *European Wireless*, Vol. 2, p. 32–39.

Markovics, Z., Stalidzans, E., Berzonis, A. (2002) Racionālas vadības noteikšana bišu ziemotavas temperatūras regulēšanai. *Rīgas Tehniskās universitātes raksti*, Vol. 5(11), lpp. 39–44.

McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., Bouma, J. (2005) Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture*, Vol. 6, p. 7–23.

Meitalovs, J., Histjajevs, A., Stalidzans, E. (2009) Automatic Microclimate Controlled Beehive Observation System. In: *8th International Scientific Confernce "Enginieering for Rural Development"*, Jelgava, Latvia: Latvia University of Agriculture, p. 265–271.

Mezquida, D.A. (2009) Short communication.: Platform for bee-hives monitoring based on sound analysis. A perpetual warehouse for swarm s daily activity. *Spanish Journal of Agricultural Research*, Vol. 7(4), p. 824–828.

Mihalik, J. (1980) Highly efficient production system for beekeeping. *Apiacta*, Vol. 15(4), p. 145–151.

Mizunuma, M., Katoh, T. (2003) Applying IT to farm fields—a wireless LAN. *Technology and Science*, Vol. 1, p. 6–60.

Morais, R., Cunha, J.B. (1996) Solar data acquisition wireless network for agricultural applications. In: *Proceeding of the 19th Convention of Electrical and Electronics Engineers*, p. 527–530.

Morais, R., Fernandes, M. a., Matos, S.G., Serôdio, C., Ferreira, P.J.S.G., Reis, M.J.C.S. (2008) A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 62(2), p. 94–106.

Nishimura, C., Conlon, D. (1994) IUSS dual use: Monitoring whales and earthquakes using SOSUS. *Marine Technology Society Journal*, Vol. 27(4), p. 13–21.

Nolan, R.L., Croson, D.C. (1995) *Creative Destruction*. Harvard Business School Press. 259 p.

Osis, J. (1979) *Automātiskā vadība un regulēšana*. Riga: Zvaigzne. 268 lpp.

Pasgianos, G., Arvanitis, K., Polycarpou, P. (2003) A nonlinear feedback technique for greenhouse environmental control. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 40, p. 141–158.

Pearson, J., Shim, J. (1995) An empirical investigation into DSS structures and environments. *Decision Support Systems*, Vol. 13, p. 141– 158.

Pentjuss, A., Zacepins, A., Gailums, A. (2011) Improving precision agriculture methods with multiagent systems in Latvian agricultural field. In: *Proceedings of the 10th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development"*, Jelgava, Latvia, p. 109–114.

Perkins, M., Correal, N., O'Dea, B. (2002) Emergent wireless sensor network imitations: a plea for advancement in core technologies. In: *Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Sensors*, Orlando, Florida, USA, p. 1505–1509.

Perrier, M., Dochain, D. (1993) Evaluation of control strategies for anaerobic digestion processes. *International Journal of Adaptive Control*, Vol. 7, p. 309–321.

Petre, E., Selisteanu, D. (2007) On adaptive control of an anaerobic digestion bioprocess. In: *7th WSEAS International Conference on Systems Theory and Scientific Computation*, Vouliagmeni, Athens, Greece, p. 7–12.

Petre, E., Selisteanu, D. (2008) Adaptive control strategies for a class of anaerobic depollution bioprocesses. In: *AQTR 2008, IEEE International Conference*, p. 159 – 164.

Pierce, F., Clay, D. (2007) *GIS Applications in Agriculture*. USA: Taylor & Francis Group. 203 p.

Plant, R., Pettygrove, G. (2000) Precision agriculture can increase profits and limit environmental impacts. *California Agriculture*, Vol. 54(4), p. 66–71.

Poon, C., Zhang, YT (2006) A novel biometrics method to secure wireless body area sensor networks for telemedicine and m-health. *IEEE Communications Magazine*, Vol. 44(4), p. 73–81.

Proffitt, T. (2006) *Precision Viticulture: a New Era in Vineyard Management and Wine Production*. Ashford, Australia: Winetitles. 90 p.

Robert, P., Stafford, J. (1999) Precision Agriculture: research needs and status in the USA. In: *Conference on Precision Agriculture*, p. 19–33.

Rubin, A.B., Pitjeva, N.F., Riznichenko, G.J. (1987) *Kinetika biologicheskih processov*. Moscow: MGU. 300 p.

Santesteban, L.G., Guillaume, S., Royo, J.B., Tisseyre, B. (2012) Are precision agriculture tools and methods relevant at the whole-vineyard scale? *Precision Agriculture*, Vol. 14, p. 2–17.

Schmickl, T., Crailsheim, K. (2004) Costs of environmental fluctuations and benefits of dynamic decentralized foraging decisions in honey bees. *Adaptive Behavior*, Vol. 12(3-4), p. 263–277.

Seeley, T.D., Buhrman, S.C. (1999) Group decision making in swarms of honey bees. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, Vol. 45(1), p. 19–31.

Selavo, L., Wood, A., Cao, Q., Sookoor, T. (2007) Luster: wireless sensor network for environmental research. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, p. 103–116.

Serodio, C., Cunha, J.B., Morais, R. (2001) A networked platform for agricultural management systems. *Computers Electronics in Agriculture*, Vol. 31, p. 75–90.

Shaw, J.A., Nugent, P.W., Johnson, J., Bromenshenk, J.J., Henderson, C.B., Debnam, S. (2011) Long-wave infrared imaging for non-invasive beehive population assessment. *Optics Express*, Vol. 19(1), p. 399–408.

Shim, J., Warkentin, M., Courtney, J. (2002) Past, present, and future of decision support technology. *Decision support*, Vol. 931, p. 1–16.

Simon, S. (1960) *The New Science of Management Decision*. New York: Harper Brothers. 175 p.

Sokolowski, J.A., Banks, C.M. (2009) *Principles of Modeling and Simulation*. New York: Wiley. 257 p.

Soldatos, A., Arvanitis, K., Daskalov, P. (2005) Nonlinear robust temperature–humidity control in livestock buildings. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 49(3), p. 357–376.

Southwick, E.E. (1992) Physiology and social physiology of the honey bee. In: *In The Hive and the Honey Bee*,, Illinois: Dadant & Sons, Hamilton, p. 171–196.

Southwick, E.E., Roubik, D.W., Williams, J.M. (1990) Comparative energy balance in groups of africanized and European honey bees: ecological implications. *Comparative Biochemistry and Physiology*, Vol. 97A(1), p. 1–7.

Stalidzans, E. (2005) *Datorvadības algoritmi daudzobjektu bioloģiskām sistēmām*. Riga. 126 lpp.

Stalidzans, E., Berzonis, A. (1994) Bišu krituma dinamika ziemojošās saimēs. *Latvijas Lauksaimnieks*, (7), p. 13–15.

Stalidzans, E., Berzonis, A. (1999) Analytical development model of bee colony. *Environmental Simulation*, (41), p. 14–21.

Stalidzans, E., Berzonis, A. (2013) Temperature changes above the upper hive body reveal the annual development periods of honey bee colonies. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 90, p. 1–6.

Stanghellini, C. (1992) Environmental control of greenhouse crop transpiration. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Vol. 51, p. 297–311.

Stanghellini, C., De Jong, T. (1995) A model of humidity and its applications in a greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 76, p. 129–148.

Stipanicev, D., Marasovic, J. (2003) Networked embedded greenhouse monitoring and control. In: *Proceedings of 2003 IEEE Conference*, p. 1350–1355.

Šnīders, A. (2008) *Automātiskās vadības pamati*. Jelgava, Latvia: LLU. 159 lpp.

Taylor, J., Chotai, A. (2000) State space control system design based on non-minimal state-variable feedback: further generalization and unification results. *International Journal of Control*, Vol. 73, p. 1329–1345.

Testezlaf, R., Larsen, C.A., Yeager, T.H., Zazueta, F. (1999) Tensiometric monitoring of container substrate moisture status. *HortTechnology*, Vol. 8, p. 105–109.

Timmerman, G., Kamp, P.G.H. (2003) Computerised Environmental Control in Greenhouses. *PTC, The Netherlands*, p. 15–124.

Vilde, A., Rucins, A., Skrastins, M. (2004) Precision Agriculture in Europe and Latvia. Trends, results, problems and visions. In: *Proceeding of the International Scientific Conference Information Technologies and Telecommunications for Rural Development*, p. 78–84.

Virone, G., Wood, A., Selavo, L. (2006) An advanced wireless sensor network for health monitoring. In: *Transdisciplinary Conference on Distributed Diagnosis and Home Healthcare*, p. 2–4.

Vivoni, E., Camilli, R. (2003) Real-time streaming of environmental field data. *Computational Geoscience*, Vol. 29, p. 457–468.

Vornicu, O.C., Olah, I. (2004) Monitorizing System of Bee Families Activity. In: *7th International Conference on Development and Application Systems*, Iasi, Romania, p. 88–94.

Voskanjanc, A. (2010) *Avtomatizirovannoe upravlenie processami prokatki*. Moscow: MGTU. 85 p.

Wang, N., Zhang, N., Wang, M. (2006) Wireless sensors in agriculture and food industry—Recent development and future perspective. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 50(1), p. 1–14.

Wu, J., Ding, F. (2006) Design and implementation of greenhouse wireless data acquisition system based on CC2420. *Instrument Technique and Sensor*, Vol. 12, p. 42–51.

Young, P., Lees, M.J. (1993) The active mixing volume (AMV): A new concept in modelling environmental systems. *Statistics for the Environment*, p. 2–43.

Young, P., Price, L., Berckmans, D. (2000) Recent developments in the modelling of imperfectly mixed airspaces. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 26, p. 239–254.

Zacepins, A. (2011) Architecture of an adaptive automatic control system for bioprocess control in closed environment. In: *Proceedings of the 5th International Scientific Conference „Rural Development 2011”*, Kaunas, Lithuania, p. 474–478.

Zacepins, A. (2012) Application of bee hive temperature measurements for recognition of bee colony state. In: *Proceedings of the 5th International Scientific Conference “Applied Information and Communication Technologies” (AICT 2012)*, Jelgava, Latvia, p. 216–221.

Zacepins, A., Karasha, T. (2012) Web based system for the bee colony remote monitoring. In: *Proceedings of the 6th International Conference “Applied Information and Communication Technologies” (AICT 2012)*, Tbilisi, Georgia, p. 155–158.

Zacepins, A., Meitalovs, J., Komasilovs, V., Stalidzans, E. (2011) Temperature sensor network for prediction of possible start of brood rearing by indoor wintered honey bees. In: *Proceedings of the 12th International Carpathian Control Conference (ICCC 2011)*, Velke Karlovice, Czech Republic, p. 465–468.

Zacepins, A., Meitalovs, J., Stalidzans, E. (2010) Model based real time automated temperature control system for risk minimization in honey bee wintering building. In: *Proceedings of the 8th International Industrial Simulation Conference (ISC 2010)*, Budapest, Hungary, p. 245–247.

Zacepins, A., Stalidzans, E. (2012) Architecture of automatized control system for honey bee indoor wintering process monitoring and control. In: *Proceedings of the 13th International Carpathian Control Conference (ICCC 2012)*, Podbanske, Slovakia, p. 772–775.

Zacepins, A., Stalidzans, E., Karasha, T. (2013) Profitability ranking of precision agriculture measurement systems implementation. In: *Proceedings of the 12th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development"*, Jelgava, Latvia (accepted for publication).

Zacepins, A., Stalidzans, E., Meitalovs, J. (2012) Application of information technologies in precision apiculture. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Precision Agriculture (ICPA 2012)*, Indianapolis, USA.

Zhang, N., Wang, M., Wang, N. (2002) Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 36(2-3), p. 113–132.

Zhang, Q., Yang, X., Zhou, Y., Wang, L. (2007) A wireless solution for greenhouse monitoring and control system based on ZigBee technology. *Journal of Zhejiang University Science*, Vol. 8(10), p. 1584–1587.

Zhang, Y, Barber, E.M. (1993) Variable ventilation rate control below the heat-deficit temperature in cold-climate livestock buildings. *Transactions of the ASAE*, Vol. 36, p. 1473–1482.

Zhou, R., Damerow, L., Sun, Y., Blanke, M.M. (2012) Using colour features of cv. "Gala" apple fruits in an orchard in image processing to predict yield. *Precision Agriculture*, Vol. 13(5), p. 568–580.

Zolnier, S., Gates, R.S., Buxton, J. (2000) Psychrometric and ventilation constraints for vapor pressure deficit control. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 26, p. 343–359.

Zubinskij, A. (2003) Raspilennaja razumnostj. *Kompjuternoe obozrenie*, Vol. 8, p. 73–74.

Zviedris, R., Elsts, A., Strazdins, G. (2010) LynxNet: wild animal monitoring using sensor networks. *Real-World Wireless Sensor Networks*, p. 170–173.

PIELIKUMI

1. pielikums. Aptauja biškopības speciālistiem ar rezultātu apokopošanu

Labdien.

Mans vārds ir Aleksejs Zacepins. Es esmu Latvijas Lauksaimniecības universitātes Informācijas tehnoloģiju fakultātes doktorants.

Mans promocijas darba pētījums ir saistīts ar bioloģiskā procesa uzraudzību un vadību. Kā praktisko pielietojumu savam pētījumam es izvēlējos izpētīt bišu saimes ziemošanas procesu. Tāpēc man Jums ir lūgums atbildēt uz dažiem jautājumiem par ziemošanas procesu un to norisi. Jūsu atbildes palīdzēs man pilnveidot savu pētījumu.

Anketēšana ir anonīma un nav nepieciešams norādīt Jūsu vārdu un citu personisku informāciju, bet, lūdzu, norādiet, kurā Latvijas novadā atrodas Jūsu drava un cik tā ir liela (cik daudz bišu saimju Jūs apkopjat?)

Atrašanās vieta - _____

Bišu saimju skaits - _____

Paldies par atsaucību!

1. jautājums / Vai ziemošanas procesu var uzskatīt par svarīgu bišu saimju dzīves ciklā?

Jā ☐ Nē ☐

2. jautājums / Vai pastāv iespēja, ka bišu saime var iet bojā ziemošanas laikā?

Jā ☐ Nē ☐

3. jautājums / Vai Jūsu praksē ir bijuši gadījumi, kad bišu saimes gāja bojā ziemošanas laikā?

Jā ☐ Nē ☐

3.1. jautājums / Ja atbilde uz 3. Jautājumu ir „Jā", tad, lūdzu, pasakiet, cik daudz bišu saimju pārziemoja un cik daudz gāja bojā Jūsu dravā ziemošanas procesā?

3.2. jautājums / Ja atbilde uz 3. Jautājumu ir „Jā", tad, lūdzu, pasakiet, kāda iemesla dēļ bišu saimes gāja bojā?

Bišu slimības ☐ Bišu mātes bojāeja ☐ Klimatiskie apstākļi ☐ Barības trūkums ☐
Cits iemesls_____

4. jautājums / Vai bišu saime var izdzīvot, ja āra gaisa temperatūra ir zem -30°C?

Jā ☐ Nē ☐

5. jautājums / Vai Jūs bišu saimes ziemināt atklātā vidē?

Jā ☐ Nē ☐

6. Jautājums / Vai Jūs zināt par iespēju izmantot specializētas ziemotavas (slēgtā telpa, kur tiek nodrošināta pastāvīga temperatūra) bišu saimju zieminināšanai?

Jā ☐ Nē ☐

7. jautājums / Vai kāds no Jums pazīstamiem biškopjiem ziemina bišu saimes specializētā ziemotavā, nevis atklātā vidē?

Jā ☐ Nē ☐

8. jautājums / Vai Jūs apsvērtu domu ziemināt bišu saimes specializētā ziemotavā, ja tas palīdzētu minimizēt bišu saimes barības patēriņu ziemošanas laikā un saglabātu bišu saimes fizioloģiskos resursus?

Jā ☐ Nē ☐

9. jautājums / Kādi klimatiskie parametri ietekmē bišu ziemošanas procesu?

Temperatūra ☐ Mitrums ☐ Gaisa gāzu sastāvs ☐ Cits _____

10. jautājums / Kāds ir svarīgākais klimatiskais parametrs, kuram ir vislielākā ietekme uz bišu ziemošanas procesu?

11. jautājums / Vai, pazeminoties gaisa temperatūrai, palielinās bišu saimes barības patēriņš?

Jā ☐ Nē ☐

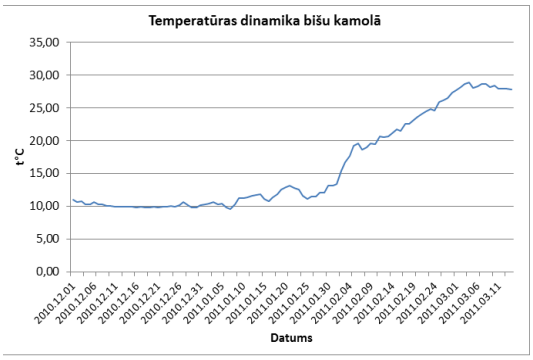
12. jautājums / Vai, atrodoties pastāvīgos labvēlīgos klimatiskos apstākļos, bišu saimes barības patēriņš samazinās (pieņemot, ka saimē ir nemainīgs fizioloģiskais stāvoklis)?

Jā ☐ Nē ☐

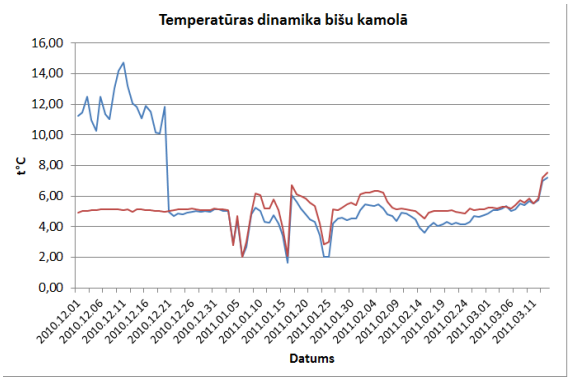
13. jautājums / Vai pēc bišu kamola temperatūras var spriest par bišu saimes aktivitāti?

Jā ☐ Nē ☐

14. jautājums / Par ko varētu liecināt šāda temperatūras dinamika bišu stropā (temperatūra tiek mērīta virs bišu kamola zem spilvena)?



15. jautājums / Par ko varētu liecināt šāda temperatūras dinamika bišu stropā (temperatūra tiek mērīta virs bišu kamola zem spilvena)? (Sarkanā (apakšējā) līkne atspoguļo ārējo gaisa temperatūru, zilā līkne (augšējā) – temperatūru bišu kamolā.)



16. jautājums / Vai informācija par aktuālo bišu saimes stāvokli stropā ziemošanas laikā būtu Jums noderīga?

Jā ☐ Nē ☐

17. jautājums / Vai informācija par bišu saimes bojāeju ziemošanas laikā būtu Jums noderīga?

Jā ☐ Nē ☐

18. jautājums / Vai, pēc Jūsu domām, ir iespējams ietekmēt bišu saimes aktivitāti ziemošanas laikā ar ārējas temperatūras izmaiņām?

Jā ☐ Nē ☐

19. jautājums / Vai, pēc Jūsu domām, ir iespējams **palēnināt** bišu saimes perošanas procesu ziemošanas laikā?

Jā ☐ Nē ☐

20. jautājums / Vai, pēc Jūsu domām, ir iespējams **pilnīgi apturēt** bišu saimes perošanas procesu ziemošanas laikā?

Jā ☐ Nē ☐

21. jautājums / Vai Jūs esat dzirdējuši par tādu zinātni, kā precīzā lauksaimniecība (kad lauksaimniecības objektus novēro individuāli)?

Jā ☐ Nē ☐

22. jautājums / Vai, pēc Jūsu domām, varētu pastāvēt tāda zinātne kā precīzā biškopība, kur katru bišu stropu uzrauga individuāli, izmantojot temperatūras mērījumus?

Jā ☐ Nē ☐

Vēlreiz paldies par atsaucību!
Ja Jums ir kādi komentāri vai piezīmes, lūdzu, pieraksties tos.
Aizpildītu anketu lūdzu atsūtiet uz e-pastu: **a_zacepins@inbox.lv**

Aptaujas rezultāti

Aptaujā piedalījās 100 respondentu.

1. jautājums / Vai ziemošanas procesu var uzskatīt par svarīgu bišu saimju dzīves ciklā?

Respondentu atbildes: *Jā – 100; Nē – 0.*

2. jautājums / Vai pastāv iespēja, ka bišu saime var iet bojā ziemošanas laikā?

Respondentu atbildes: *Jā – 100; Nē – 0.*

3. jautājums / Vai Jūsu praksē ir bijuši gadījumi, kad bišu saimes gāja bojā ziemošanas laikā?

Respondentu atbildes: *Jā – 87; Nē – 13.*

4. jautājums / Vai bišu saime var izdzīvot, ja āra gaisa temperatūra ir zem -30°C?

Respondentu atbildes: *Jā – 99; Nē – 1.*

5. jautājums / Vai Jūs bišu saimes ziemināt atklātā vidē?

Respondentu atbildes: *Jā – 97; Nē – 3.*

6. jautājums / Vai Jūs zināt par iespēju izmantot specializētas ziemotavas?

Respondentu atbildes: *Jā – 87; Nē – 13.*

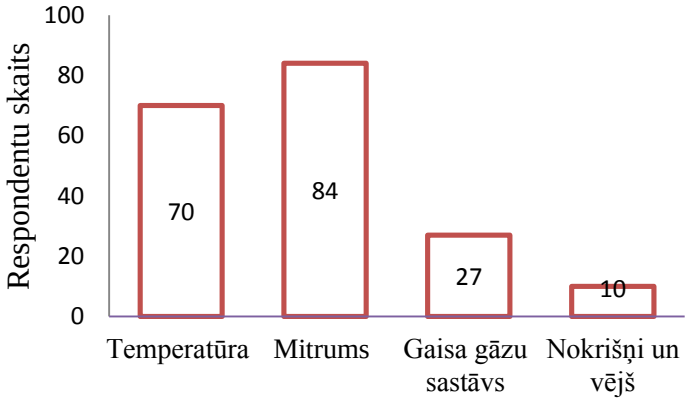
7. jautājums / Vai kāds no Jums pazīstamiem biškopjiem ziemina bišu saimes specializētā ziemotavā, nevis atklātā vidē?

Respondentu atbildes: *Jā – 19; Nē – 81.*

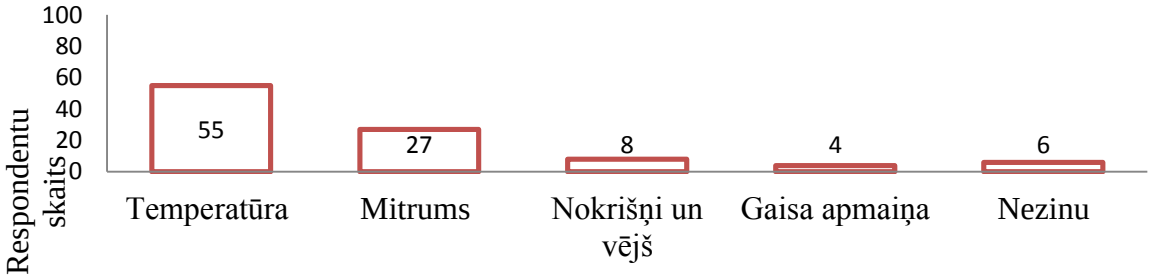
8. jautājums / Vai Jūs apsvērtu domu ziemināt bišu saimes specializētā ziemotavā, ja tas palīdzētu minimizēt bišu saimes barības patēriņu ziemošanas laikā un saglabātu bišu saimes fizioloģiskos resursus?

Respondentu atbildes: *Jā – 51; Nē – 49.*

9. jautājums / Kādi klimatiskie parametri ietekmē bišu ziemošanas procesu?



10. jautājums / Kāds ir svarīgākais klimatiskais parametrs, kuram ir vislielākā ietekme uz bišu ziemošanas procesu?



11. jautājums / Vai, pazeminoties gaisa temperatūrai, palielinās bišu saimes barības patēriņš?

Respondentu atbildes: *Jā – 83; Nē – 17.*

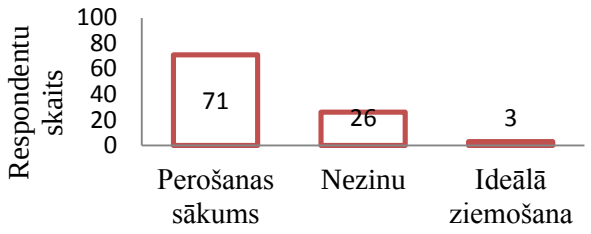
12. jautājums / Vai, atrodoties pastāvīgos labvēlīgos klimatiskos apstākļos, bišu saimes barības patēriņš samazinās?

Respondentu atbildes: *Jā – 83; Nē – 17.*

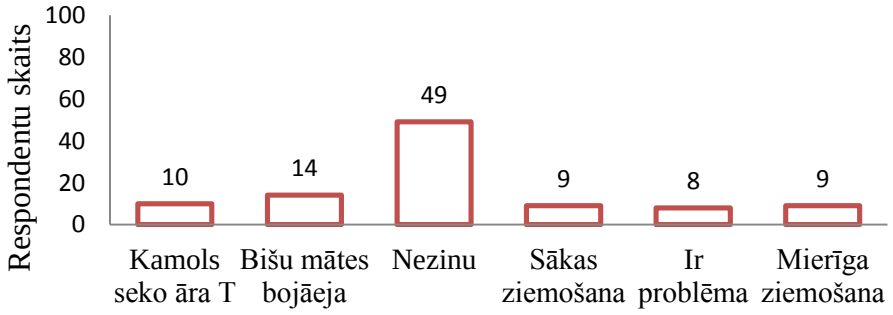
13. jautājums / Vai pēc bišu kamola temperatūras var spriest par bišu saimes aktivitāti?

Respondentu atbildes: *Jā – 96; Nē – 4.*

14. jautājums / Par ko varētu liecināt sekojoša temperatūras dinamika bišu stropā?



15. jautājums / Par ko varētu liecināt sekojoša temperatūras dinamika bišu stropā?



16. jautājums / Vai informācija par aktuālo bišu saimes stāvokli stropā ziemošanas laikā būtu Jums noderīga?

Respondentu atbildes: *Jā – 86; Nē – 14.*

17. jautājums / Vai informācija par bišu saimes bojāeju ziemošanas laikā būtu Jums noderīga?

Respondentu atbildes: *Jā – 79; Nē – 21.*

18. jautājums / Vai, pēc Jūsu domām, ir iespējams ietekmēt bišu saimes aktivitāti ziemošanas laikā ar ārējās temperatūras izmaiņām?

Respondentu atbildes: *Jā – 92; Nē – 8.*

19. jautājums / Vai, pēc Jūsu domām, ir iespējams **palēnināt** bišu saimes perošanas procesu ziemošanas laikā?

Respondentu atbildes: *Jā – 73; Nē – 27.*

20. jautājums / Vai, pēc Jūsu domām, ir iespējams **pilnīgi apturēt** bišu saimes perošanas procesu ziemošanas laikā?

Respondentu atbildes: *Jā – 38; Nē – 62.*

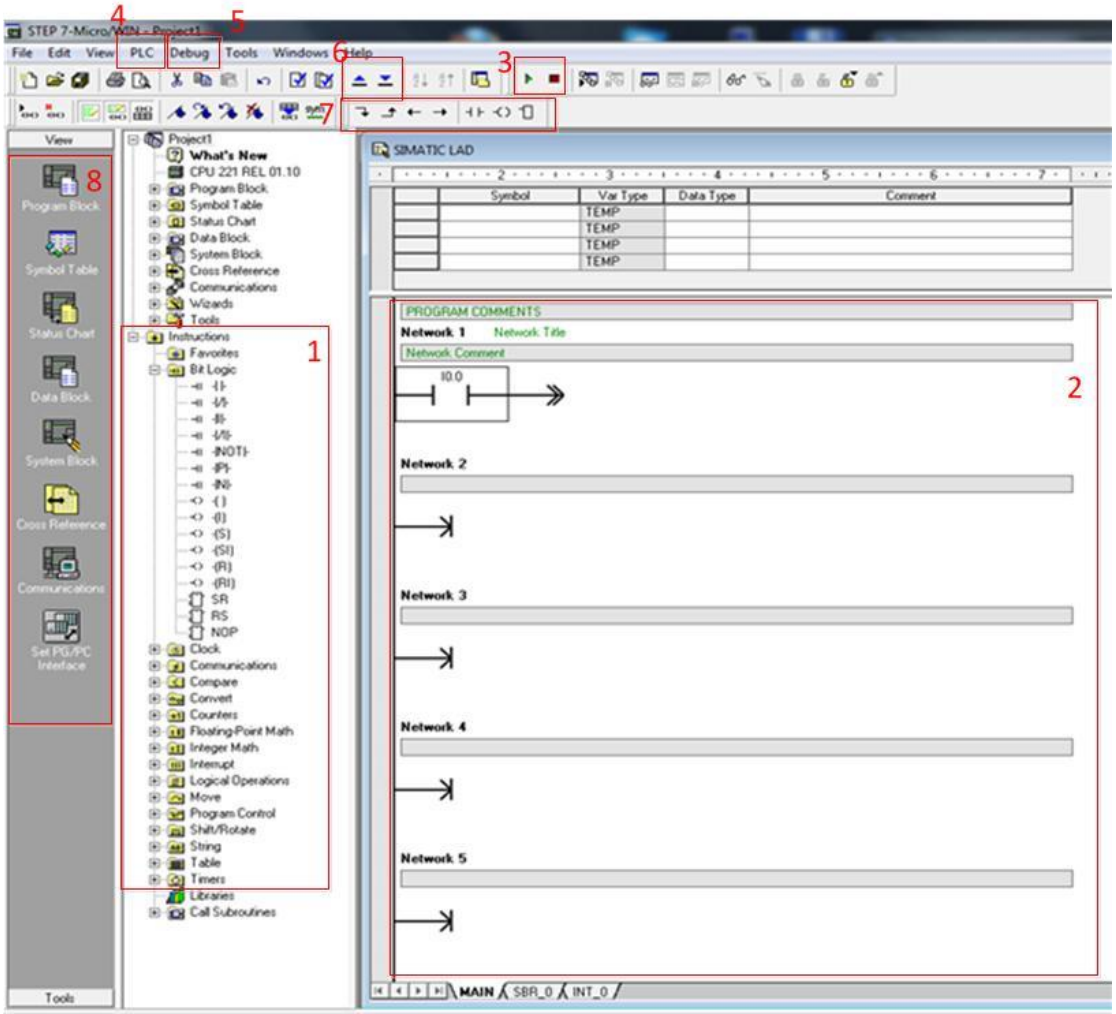
21. jautājums / Vai Jūs esat dzirdējuši par tādu zinātni kā precīzā lauksaimniecība?

Respondentu atbildes: *Jā – 29; Nē – 71.*

22. jautājums / Vai, pēc Jūsu domām, varētu pastāvēt tāda zinātne kā precīzā biškopība, kur katru bišu stropu uzrauga individuāli, izmantojot temperatūras mērījumus?

Respondentu atbildes: *Jā – 83; Nē – 17.*

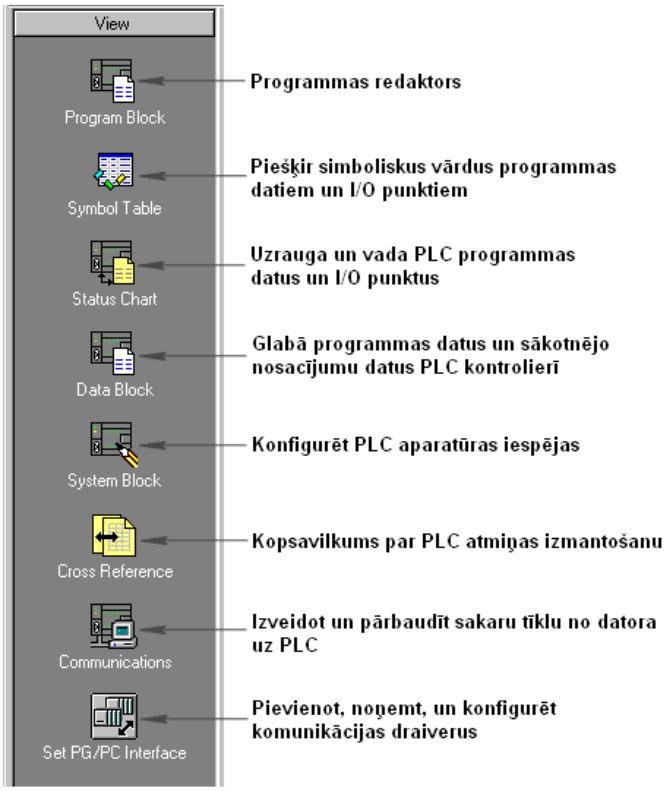
2. pielikums. Programmas MicroWin lietotāja saskarnes apraksts



Lietotāja saskarne sastāv no vairākiem elementiem (blokiem).

1 - Pieejamās vadības instrukcijas.
2 - Programmēšanas darba virsma.
3 - START/STOP PLK palaišanas opcijas.
4 - PLK vadības funkcijas.
5 - Debug funkcija. Programmas norises sekotājs.
6 - Izveidotās vadības programmas lejupielāde uz PLK vai augšupielāde no PLK.
7 - Vadības programmas savienojumu veidotāj elementi.
8 - STEP 7-Micro/WIN navigācijas izvēlne.

3. pielikums. Programmas MicroWin navigācijas paneļa apraksts



MicroWin programmas navigācijas izvēlni veido vairāki komponenti:

- program block – veido izpildāmais kods un piezīmes. Izpildāmo kodu veido galvenā programma (OB1) un citas apakšprogrammas vai pārtraukumi. Programmas kods tiek apkopots un lejupielādēts uz PLK, bet izveidotās piezīmes nē;
- symbol table – simbolu tabula ļauj programmētājam izmantot simbolisku adresēšanu. Simboli varētu būt labāk saprotami, un tie ļauj vieglāk sekot programmas vadības loģikai. Apkopotā programma, kuru ielādē PLK, pārvērš visus simbolus uz absolūtajām adresēm. Simbolu tabulas informācija netiek ielādēta uz PLK;
- status charts – statusa diagrammas ļauj vērot, kā mainās procesa vērtības, kad tiek izpildīta vadības programma. Statusa diagrammas netiek ielādētas uz PLK, tās ir kā PLK aktivitātes uzraudzības (vai simulācijas) līdzeklis;
- data block – datu bloku veido dati (sākotnējās atmiņas vērtības, konstantes) un piezīmes;
- system block – sistēmas bloku veido konfigurācijas informācijas, piemēram, komunikāciju parametri, aiztures datu apgabali, analogās un digitālās ieejas filtri, izvades vērtības STOP pārejai un paroles informācija. Sistēmas bloka informācija tiek ielādēta uz PLK.
- cross reference - logs ļauj pārbaudīt programmā izmantoto operatoru tabulas, kā arī, kuri atmiņas apgabali jau ir piešķirti. Informācija netiek ielādēta uz PLK;
- noklikšķinot uz komunikācijas ikonas (Communications) navigācijas joslā, tiek atvērts komunikāciju dialoglogs, kas tiek izmantots, lai izveidotu savienojuma veidu STEP7 - Micro/WIN programmā ar PLK.

4. pielikums. Viena temperatūras sensora d18s20 relatīvās kļūdas novērtējums

Pēc ražotāja datiem temperatūras sensora d18s20 mērīšanas kļūda ir ±0.5°C. Lai novērtētu sensora precizitāti, tika ņemts 1 sensors ar mērķi noteikt temperatūru vienā telpas vietā vienā laika periodā, veicot 10 mērījumus, pieņemot, ka mērīšanas laikā ārējie apstākļi nemainās:

Mērījums	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rezultāts (°C)	11.37	11.37	11.37	11.43	11.37	11.37	11.43	11.43	11.43	11.43

- minimālā vērtība ir vienāda ar +11.37°C
- maksimālā vērtība ir vienāda ar +11.43°C
- vidējā vērtība ir vienāda ar +11.40°C

Pēc mērījumiem var aprēķināt dinamikas rindas izlīdzinātos mērījumus:

13.78 | 15.50 | 17.22 | 18.94 | 20.66 | 22.38 | 24.10 | 25.82 | 27.55 | 29.27 |

Pēc jau izlīdzinātajiem mērījumiem var aprēķināt korelācijas koeficientu, kas ir vienāds ar 1, kas nozīmē, ka pastāv ciešā korelācija starp mērījumiem. Pēc tā var secināt, ka sensora mērījumi ir ticami un rezultātu izkliede ir minimāla.

Eksperimentāli iegūtie rezultāti dod tikai aptuvenu nosakāmā fizikālā lieluma vērtību. Tie ir atkarīgi ne tikai no fizikālā lieluma patiesās vērtības, bet arī no mērīšanas metodes, no lietotajiem tehniskajiem līdzekļiem, no mērījumu izpildītāja īpašībām un citiem apstākļiem. Eksperimentāli noteikto fizikālā lieluma vērtību, kura tādā mērā tuvojas patiesajai vērtībai, ka izmantojama tās vietā, sauc par šī fizikālā lieluma reālo vērtību.

Starpību starp iegūto rezultātu x' un nosakāmā lieluma reālo vērtību x, t.i., lielumu x'-x, sauc par absolūtu kļūdu un apzīmē Δx. Absolūtās kļūdas attiecību pret lieluma reālo vērtību sauc par relatīvo kļūdu (apzīmē ε). To izsaka procentos:

$$\varepsilon = \frac{x' - x}{x} 100\% = \frac{\Delta x}{x} 100\% \qquad (1)$$

kur ε - relatīva kļūda;
x' - iegūtais rezultāts;
x - nosakāmā lieluma reālā vērtība;
Δx - absolūtā kļūda.

Rezultātu apstrāde ar mērķi noteikt mērīšanas kļūdas:

Mērījums	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rezultāts (°C)	11.37	11.37	11.37	11.43	11.37	11.37	11.43	11.43	11.43	11.43

- Aprēķina vidējo aritmētisko vērtību no visiem mērījumiem:

$$Xvid = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} Xi \qquad (2)$$

kur $Xvid$ - vidējā aritmētiskā vērtība no visiem mērījumiem;
N - mērījumu skaits;
Xi - konkrētā mērījuma vērtība.

Xvid = 11.4.

- Aprēķina vidējo kvadrātisko kļūdu (Sx):

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - x_{vid})^2}{N(N-1)}} \quad (3)$$

kur Sx - vidējā kvadrātiskā kļūda;
N - mērījumu skaits;
Xi - konkrētā mērījuma vērtība;
$Xvid$ - vidējā aritmētiskā vērtība no visiem mērījumiem.

Sx = 0.01

- Izvēlas ticamības varbūtības vērtību β (parasti ņem β=0.95)
- Izvēlas Stjūdenta koeficientu vērtību $t_\beta(N)$, dotajā gadījumā $t_\beta(N)=1.812$
- Aprēķina ticamības intervāla robežas (gadījuma kļūdu):

$$\Delta x_s = s_x t_\beta(N) \quad (4)$$

kur Δx_s - gadījuma kļūda;
s_x - vidējā kvadrātiskā kļūda;
$t_\beta(N)$ - Stjūdenta koeficienta vērtība.

$\Delta x_s = 0.01812$

- Aprēķina sistemātiskās kļūdas daļu, kas saistīta ar mērinstrumenta precizitāti. Salīdzina gadījuma kļūdas un sistemātiskās kļūdas vērtības. Kā galīgo mērījumu absolūto kļūdu Δx pieņem lielāko no šīm kļūdām.

$$\Delta x_\delta = \frac{\delta}{3} t_\beta(\infty) \quad (5)$$

kur Δx_δ - mērinstrumenta kļūda;
δ - mērinstrumenta pamatkļūda;
$t_\beta(\infty)$ - Stjūdenta koeficients, kas atbilst vēlamajai ticamības varbūtībai β un bezgalīgi lielam mērījumu skaitam.

$\Delta x_\delta = 0.274167$

Sistemātiskā kļūda ir lielāka par gadījuma kļūdu, tāpēc absolūtā kļūda ir vienāda ar sistemātisko.

- Aprēķina rezultāta relatīvo kļūdu

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x_{vid}} 100\% \quad (6)$$

kur ε - relatīvā kļūda;
Δx - absolūtā kļūda.
$Xvid$ - vidējā aritmētiskā vērtība no visiem mērījumiem.

ε = 0.274167/11,4 × 100% = 2%

Relatīvās kļūdas vērtībai vienmēr jābūt mazākai par100%. Jo šī kļūda ir mazāka, jo precīzāk ir veikti mērījumi. Iegūtā relatīvā kļūda demonstrē, ka mērījumu rezultāti ir stabili un atkārtojami, jo kļūda ir 2% robežās.

5. pielikums. Vairāku temperatūras sensoru d18s20 relatīvās kļūdas novērtējums

Pēc ražotāja datiem temperatūras sensora d18s20 mērīšanas kļūda ir ±0,5°C. Lai novērtētu sensora precizitāti, tika ņemti 10 sensori ar mērķi izmērīt temperatūru vienā telpas vietā vienā laika periodā, pieņemot, ka mērīšanas laikā ārējie apstākļi nemainās.

Nr.	**M1**	**M2**	**M3**	**M4**	**M5**	**M6**	**M7**	**M8**	**M9**	**M10**
1	11.56	11.56	11.62	11.62	11.62	11.62	11.62	11.62	11.62	11.62
2	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81
3	11.93	11.93	12	11.93	12	12	12	12	11.93	11.93
4	12	12.06	12.06	12.06	12.06	12.06	12.06	12.06	12.06	12
5	11.75	11.68	11.75	11.68	11.75	11.75	11.68	11.68	11.68	11.68
6	11.87	11.87	11.93	11.93	11.93	11.93	11.93	11.93	11.93	11.87
7	11.87	11.87	11.93	11.93	11.93	11.93	11.93	11.93	11.87	11.87
8	11.75	11.81	11.81	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75
9	12	12	12.06	12	12	12	12	12	12	11.93
10	12.12	12.18	12.18	12.18	12.12	12.12	12.12	12.12	12.12	12.12

Tika veikti desmit mērījumi. Tad katram no sensoriem tika aprēķināta vidējā vērtība, jo ir zināms, ka katra atsevišķa sensora relatīvā kļūda ir 2%.

Sensors	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vērtība (°C)	11.61	11.81	11.97	12.05	11.71	11.91	11.91	11.76	11.93	12.14

Izmantojot 4. pielikumā izklāstīto metodiku un formulas, tiek aprēķināta relatīvā kļūda.

Xvid = 11.88

Sx = 0.050397

$\Delta x_s = 0.09132$

$\Delta x_\delta = 0.274167$

Atkal sistemātiskā kļūda ir lielāka par gadījuma kļūdu, tāpēc absolūtā kļūda ir vienāda ar sistemātisko.

$\varepsilon = 2\%$

Šī metode norāda uz to, ka vairāku sensoru mērījumu rezultāti ir stabili un atkārtojami, jo kļūda ir 2% robežās, bet neliecina par rezultātu izkliedi.

Matemātiski pētot minimālo un maksimālo vērtību: Min = 11.61 un Max = 12.14. Šie rezultāti norāda uz to, ka temperatūras vērtības var atšķirties 0.53 grādu robežās, kas ir ražotāja noteiktā kļūda.

6. pielikums. Temperatūras sensora *d18s20* nolasīšanas ātruma novērtējums

Pēc ražotāja datiem temperatūras sensora *d18s20* nolasīšanas ātrums ir 200 ms. Lai pārbaudītu nolasīšanas ātrumu, tika izveidota *C#* konsoles aplikācija, ar kuras palīdzību tika veikti mērījumi sekundēs ar dažādu sensoru skaitu.

1 sensora nolasīšana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Laiks (s)	1.81	2.01	2.11	1.56	1.87	2.17	1.99	1.55	1.82	1.56

Tika veikti desmit mērījumi:

- minimālā vērtība ir vienāda ar 1.55s
- maksimālā vērtība ir vienāda ar 2.17s
- vidējā vērtība ir vienāda ar 1.85s

Pēc rezultātiem var secināt, ka reālais sensora nolasīšanas ātrums ir mazāks nekā ražotāja noteiktais, bet to var izskaidrot ar to, ka laiks tiek rēķināts programmiski un netiek rēķināta pašas programmas ātrdarbība un datu atspoguļošana.

2 sensoru nolasīšana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Laiks (s)	3.06	2.71	2.62	3.27	3.21	3.07	2.71	3.21	3.28	2.68

Tika veikti desmit mērījumi:

- minimālā vērtība ir vienāda ar 2.6s
- maksimālā vērtība ir vienāda ar 3.28s
- vidējā vērtība ir vienāda ar 2.98s

Veicot pētījumu, autora izstrādātajai temperatūras mērīšanas sistēmai (2011-2012 ziemas periodā) bija pieslēgti 23 sensori.

23 sensoru nolasīšana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Laiks (s)	26	25.8	26.3	26.3	25.5	26	25.8	26.5	26.7	25.2

Tika veikti desmit mērījumi:

- minimālā vērtība ir vienāda ar 25.23s
- maksimālā vērtība ir vienāda ar 26.72s
- vidējā vērtība ir vienāda ar 26.00s

Pēc rezultātiem var secināt, ka šajā gadījumā ir iespējams nolasīt datus no sensoriem 2 reizes minūtē. Autora veiktajā pētījumā tāds nolasīšanas ātrums ir pilnīgi pietiekams, jo temperatūras izmaiņas bišu stropā nenotiek tik strauji.

7. pielikums. Temperatūras izmaiņas ziemotavas telpā

Mikroklimata vadības sistēmas darbība tika realizēta, ņemot vērā tikai viena sensora datus. Sensors tika izvietots pie silta gaisa recirkulācijas ventilatora. Ir nepieciešams pārbaudīt, cik lielā mērā temperatūra atšķiras vairākos ziemotavas punktos.

Tika veikti divi eksperimentālie mērījumi. Viens, kad mikroklimata vadības sistēma nedarbojas.

Nr.	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
1	12.56	12.56	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.43	12.37	12.37
2	12.18	12.18	12.18	12.18	12.18	12.18	12.18	12.18	12.12	12.12
3	12	12	12	12	12	12	12	12	11.93	12
4	11.56	11.56	11.62	11.62	11.62	11.62	11.62	11.62	11.62	11.62
5	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81
6	11.93	11.93	12	11.93	12	12	12	12	11.93	11.93
7	12	12.06	12.06	12.06	12.06	12.06	12.06	12.06	12.06	12
8	11.75	11.68	11.75	11.68	11.75	11.75	11.68	11.68	11.68	11.68
9	11.87	11.87	11.93	11.93	11.93	11.93	11.93	11.93	11.93	11.87
10	11.87	11.87	11.93	11.93	11.93	11.93	11.93	11.93	11.87	11.87

Un otrs, kad sistēma darbojas un ziemotavas temperatūra ir +17.50°C.

Nr.	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
1	17.18	17.18	17.25	17.31	17.31	17.31	17.31	17.43	17.43	17.43
2	16.56	16.56	16.62	16.68	16.68	16.62	16.68	16.68	16.75	16.75
3	16.68	16.62	16.81	16.75	16.81	16.81	16.81	16.87	17	16.93
4	16.68	16.62	16.75	16.68	16.75	16.75	16.81	16.87	16.93	16.87
5	17.12	17.12	17.12	17.12	17.18	17.18	17.18	17.31	17.31	17.31
6	17.43	17.37	17.43	17.43	17.43	17.5	17.56	17.68	17.62	17.62
7	17.56	17.56	17.62	17.62	17.68	17.75	17.75	17.81	17.87	17.81
8	17.25	17.18	17.31	17.25	17.25	17.37	17.43	17.5	17.5	17.43
9	17.43	17.43	17.5	17.43	17.5	17.5	17.56	17.62	17.62	17.62
10	17.31	17.31	17.31	17.37	17.43	17.5	17.56	17.62	17.62	17.62

Analizējot datus, var secināt, ka mērījumu izkliede ir 1°C robežās, kas, pieņemot, ka vairāku sensoru mērījumu atšķirībā 0.5°C būtiskās atšķirības sensora novietošanas vietās nav.