



Latvijas Lauksaimniecības universitāte  
Informācijas tehnoloģiju fakultāte  
Datoru sistēmu katedra

Latvia University of Agriculture  
Faculty of Information Technologies  
Department of Computer Systems

Aleksejs Zacepins

## **UZ MODELIEM BALSTĪTA DAUDZOBJEKTU BIOSISTĒMAS PRECĪZĀ DATORVADĪBA**

### **MODEL BASED PRECISION COMPUTER CONTROL OF THE MULTIOBJECT BIOSYSTEM**

**Promocijas darba**

**KOPSAVILKUMS**

Dr.sc.ing. grāda ieguvei Informācijas tehnoloģiju nozarē

**SUMMARY**

of the Thesis for acquiring Doctoral Degree in the field of Information  
Technologies



**IEGULDĪJUMS TAVĀ NĀKOTNĒ**



EIROPAS SAVIENĪBA

Promocijas darba izstrāde un noformēšana līdzfinansēta no  
Eiropas Savienības Sociālā fonda

**Aleksejs Zacepins**

**Paraksts / Signature**

Jelgava 2013

# 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, Datoru 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.

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

Promocijas darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu. Projekta "Atbalsts LLU doktora studiju īstenošanai", vienošanās Nr.2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017, ietvaros.

**Oficiālie recenzenti:**

1. Latvijas Lauksaimniecības universitātes asociētais profesors, Dr.sc.ing. Aivars Kaķītis;
2. Latvijas Universitātes profesors, Dr.sc.comp. Leo Seļāvo;
3. Aarhus Universitātes profesors, M.Sc., Ph.D. Henrik Karstoft.

**Promocijas darba aizstāvēšana** notiks LLU Informācijas tehnoloģiju nozares promocijas padomes atklātā sēdē 2013. gada 9. maijā, Jelgavā, Lielajā ielā 2, Informācijas tehnoloģiju fakultātes 218. auditorijā, plkst. 10:00.

Ar promocijas darbu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā, Lielajā ielā 2, Jelgavā un tiešsaistē [http://llufb.llu.lv/promoc\\_darbi.html](http://llufb.llu.lv/promoc_darbi.html)

**Atsauksmes sūtīt** Promocijas padomes sekretārei – Lielajā ielā 2, Jelgava, LV-3001; tālrunis 63005621; e-pasts [tatjana.tabunova@llu.lv](mailto:tatjana.tabunova@llu.lv). Atsauksmes vēlams sūtīt skenētā veidā ar parakstu.

**Padomes sekretāre** – LLU lektore Mg.paed. Tatjana Tabunova.

ISBN 978-9984-861-36-4 (online)

## SATURS

PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA .....	5
IEVADS .....	8
Tēmas aktualitāte .....	8
Promocijas darba mērķis un uzdevumi .....	10
Pētījumu metodes .....	10
Zinātniskais jauninājums .....	10
Pētījuma tēzes .....	11
Praktiskā vērtība .....	11
Promocijas darba struktūra un apjoms .....	11
1. DATORVADĪBAS PIELIETOJUMS PRECĪZAJĀ LAUKSAIMNIECĪBĀ ..	11
2. AUTOMATIZĒTAS VADĪBAS SISTĒMAS ARHITEKTŪRA	
PRECĪZAI BIOSISTĒMU VADĪBAI .....	12
Precīzās lauksaimniecības sistēmu ieviešanas lietderības	
izvērtēšanas metodika .....	14
Modeļu sadarbības metodika lēmumu atbalsta sistēmās .....	16
3. DAUDZOBJEKTU BIOSISTĒMAS DATORVADĪBAS PRAKTISKĀ	
REALIZĀCIJA PRECĪZAJĀ BIŠKOPĪBĀ .....	18
4. BIŠU SAIMJU ZIEMINĀŠANAS VADĪBAS EKSPERIMENTI.....	20
SECINĀJUMI .....	23
Galvenie darba rezultāti .....	23
Secinājumi un attīstības perspektīvas .....	24
LITERATŪRA .....	49

## TABLE OF CONTENTS

APPROBATION OF PHD THESIS .....	27
INTRODUCTION.....	30
Theme topicality .....	30
The aim and the tasks of the PhD thesis.....	32
Research methods .....	32
Scientific novelty .....	32
Theses .....	33
Practical value .....	33
PhD thesis structure and volume .....	33
1. APPLICATION OF THE COMPUTER CONTROL IN PRECISION AGRICULTURE.....	33
2. ARCHITECTURE OF THE AUTOMATIZED CONTROL SYSTEM FOR THE PRECISION CONTROL OF THE BIOSYSTEM.....	33
Method for usefulness evaluation of measurement system implementation in Precision Agriculture .....	36
Models collaboration methodology in decision support systems .....	39
3. PRACTICAL IMPLEMENTATION OF THE COMPUTER CONTROL OF THE MULTIOBJECT BIOSYSTEM IN PRECISION BEEKEEPING .....	40
4. EXPERIMENTS OF THE BEE COLONY WINTERING CONTROL.....	42
CONCLUSIONS .....	45
The main PhD thesis results .....	46
Conclusions and development prospects.....	47
BIBLIOGRAPHY .....	49

## PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA

Pētījumu rezultāti ir atspoguļoti sekojošās publikācijās:

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., 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.
10. **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).

Pētījumos iegūtie rezultāti tika prezentēti sekojošās konferencēs:

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.

Pētījumos iegūtie rezultāti tika prezentēti sekojošos 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 attālinātās 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.
10. „Sensori precīzajā biškopībā”, ERAF projekta „Daudzaģentu robotizētas intelektuālas sistēmas tehnoloģijas izstrāde” atvērtais seminārs, Rīga, Latvija. 2013. gada 11. janvāris.

#### **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.

# IEVADS

## Tēmas aktualitāte

Mūsdienās informācijas un komunikācijas tehnoloģijas (IKT) sniedz neatzīstamu 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 tikt 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 augsnē īpatnībām (Robert, Stafford, 1999), uz komplikētāku, kur ir jau minēta gala produkta kvalitāte un ietekme uz vidi (McBratney et al., 2005).

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

Īstenojot PL pieeju savā saimnieciskajā darbībā, lauksaimniecības nozares speciālists (lauksaimnieks) ir spējīgs sasniegt galveno mērķi, tas ir - iegūt pēc iespējas augstākas kvalitātes produkciju, patēriņot 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. Ietekmējotie parametri var būt gaismas daudzums un tās intensitāte, temperatūras un mitruma lielumi, augsnē kīmiskais 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 veiktu eksperimentu vai paša lauksaimnieka pieredzi un zināšanas.

Lielākā daļa no lauksamniecībā notiekošiem procesiem ir bioloģiskie procesi (bioprocessi), 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 bioprocessu uzraudzības un vadības problēmas ir uzskatāmas par svarīgām, tieši tāpēc tām pievērš uzmanību daudzi zinātnieki un pētnieki.

Promocijas darba autors savā pētījumā pievēršas daudzobjektu bioprocessa vadībai. Promocijas darba nosaukumā lietots termins „precīzā datorvadība”, kas ir

definējams, nēmot par pamatu precīzās lauksaimniecības jēdzienu un pieeju, kur būtiski ir novērojumi par katu individuāli pētāmo objektu. Precīza datorvadība ir - ar datora palīdzību veikta ražošanas vai tehnoloģiskā procesa vadība, balstoties uz procesā iesaistīto objektu individuālajiem mērķumiem. 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 - nejaut 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 bojāju.

Autora promocijas darbs ir iztekti 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 latīnu 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 zinātnu 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 biškopību atziņām, šajā periodā ir vislielākais bišu saimju zaudējums un bojāja.

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.

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 piejas realizāciju, izmantojot vairāku matemātisko modeļu sadarbību daudzobjektu biosistēmu datorvadībā.

Pētījuma mērķa sasniegšanai tika izvirzīti šādi 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.

### **Pētījumu 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 logisko 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 mēriņumi ir veikti, izmantojot 1-vadu arhitektūru.

### **Zinātniskais jauninājums**

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

## **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.

## **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, novēršot neprognozējamo laika apstākļu ietekmi.
- Izstrādātā dalītas adaptīvas automatizētas vadības sistēmas arhitektūra var tikt lietota slēgtās telpās notiekšo bioprocesu vadībai.
- Izstrādātie algoritmi ļauj atpazīt dažādus bišu saimes stāvokļus pēc temperatūras mērījumiem.

## **Promocijas darba struktūra un apjoms**

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur anotāciju, ievadu, 4 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 7 pielikumus, tajā skaitā 13 tabulas, 108 attēlus, kopā 152 lappuses. Darbā izmantoti 150 literatūras avoti.

## **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 precīzo lauksaimniecības objektu vadību, kad visas vajadzīgās vadības iedarbes notiek, ņemot vērā ieejas datus un nepieciešamos individuālā objekta specifiskos parametrus. Konceptuāli PL raksturo trīs fāžu cikls, kur pirmā fāze ir datu savākšana, otrā fāze ir datu analizēšana un interpretēšana un trešā fāze ir vadības iedarbe (Mancuso, Bustaffa, 2006).

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. Sensoru tīkli kļūst par svarīgu elementu PL sistēmās.

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).

Precīzā lauksaimniecība pierādīja sevi kā veiksmīgu pieeju vairākās lauksaimniecības apakšnozarēs, piemēram, precīzajā lopkopībā (Berckmans, 2006), precīzajā dārzkopībā (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, kur precīzās lauksaimniecības pieeja un metodes var tikt izmantotas un realizētas.

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).

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.

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.

## **2. AUTOMATIZĒTAS VADĪBAS SISTĒMAS ARHITEKTŪRA PRECĪZAI BIOSISTĒMU VADĪBAI**

AVS arhitektūra ir vadības sistēmas abstraktais attēlojums, kurš ietver sevī sistēmas komponenšu (elementu) idealizētu modeļu, 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).

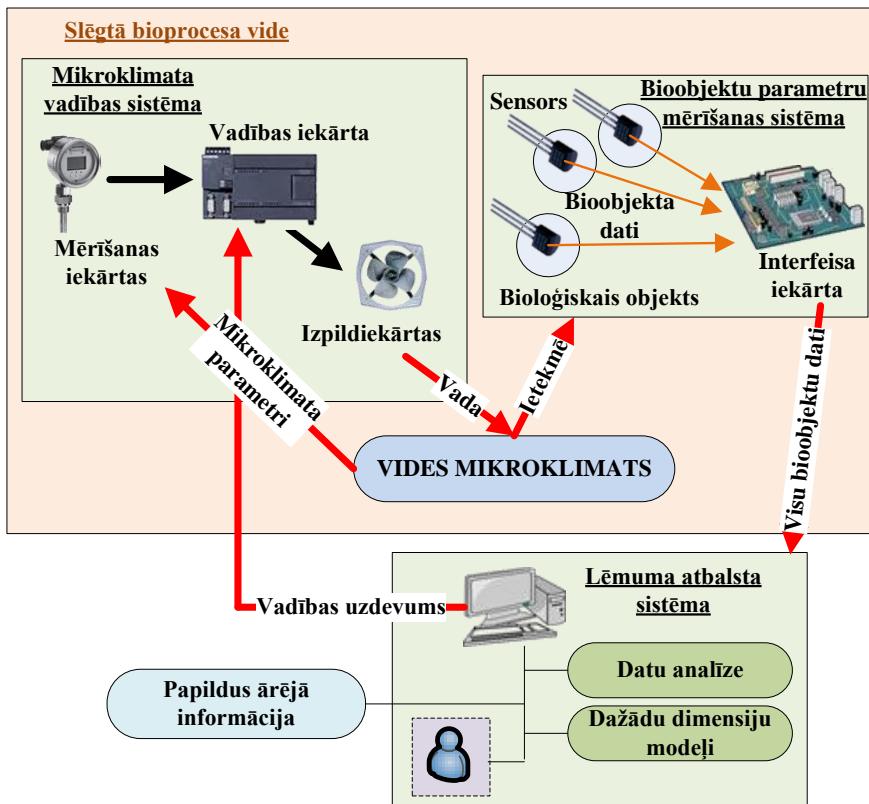
Dažādām PL variācijām piemērota vadības sistēmu arhitektūras literatūra nav atrasta, jo autori parasti piedāvā noteiktas problēmas risinājumu, nekoncentrējoties uz arhitektūras problemātiku.

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 skaitlošanas sistēmai piemērotā vidē. Treškārt, ir jārealizē visu vadībā iesaistīto objektu parametru mērīšana vadības atgriezeniskās saites realizēšanai. Tāpēc autors savā pētījuma ietvaros piedāvā unificētu vadības sistēmas arhitektūru bioloģisko objektu uzraudzības un vadības uzdevuma risināšanai, balstītu uz PL uzdevumu modeļu bāzētas risināšanas shēmu.

Autora piedāvātā bioloģisko objektu vadības sistēmas arhitektūra ir atspoguļota 1. attēlā. 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.

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 skaitlošanas sistēmai, kura veic to apkopošanu un analīzi. Balstoties uz iepriekš definētiem modeļiem, skaitlošanas sistēma atpazina uzraudzītā objekta stāvokli. Nemot vērā citus ārējo datu informācijas avotus (piem., laika prognozi), skaitlošanas 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.

Autora piedāvātā biosistēmas vadības sistēmas arhitektūra ir dalāma vairākos atsevišķos sistēmas elementos, kur katrs no tiem var būt izstrādāts neatkarīgi. Elementi ir: mikroklimata vadības sistēma, biosistēmas parametru mērīšanas sistēma un lēmuma atbalsta sistēma.



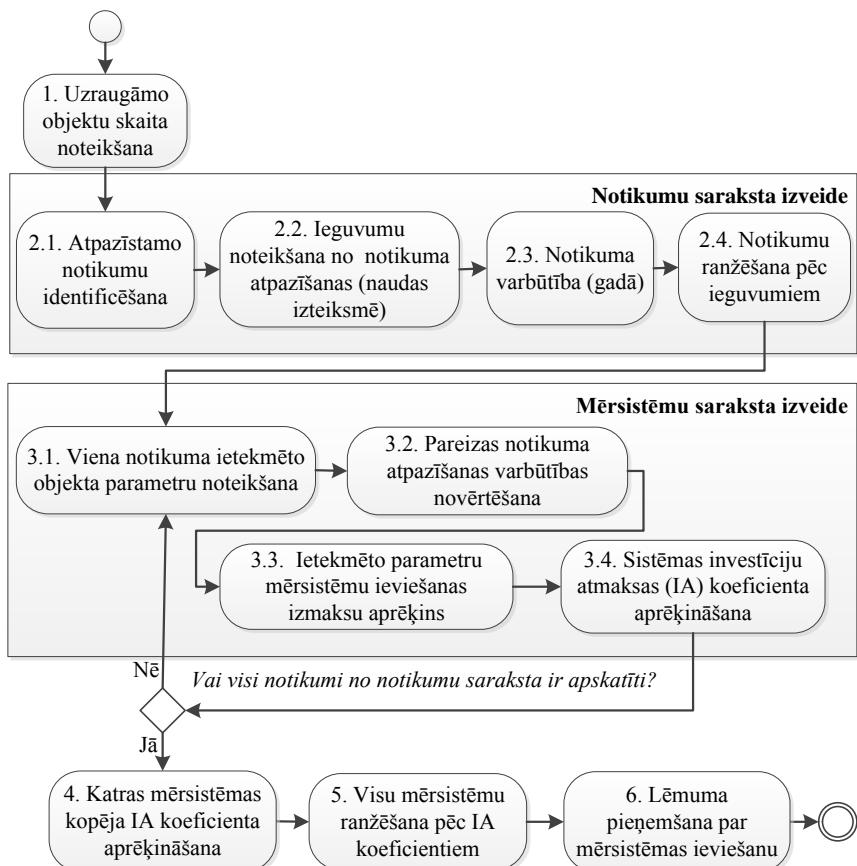
1. att. Slēgtā telpā notiekoša bioloģiska procesa adaptīva, sadalīta vadības sistēmas arhitektūra

### Precīzās lauksaimniecības sistēmu ieviešanas lietderības izvērtēšanas metodika

Mērišanas iekārtas izvēle ir viens no svarīgākajiem etapiem, veicot bioloģiskā objekta parametru mērišanas uzdevumu. 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 uzraudzīmo objektu parametru mērišanu 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 visatrāk peļņu nesošajiem pasākumiem.

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 mērišanas sistēmas ieviešana sevi attaisno. Darba autors piedāvā metodi (algoritma blokshēmu skat. 2. att.), ar kura palīdzību var noteikt objekta mērišanas sistēmas investīciju atmaksas (IA) koeficientu un tādējādi novērtēt ieguvumus un/vai zaudējumus pēc objekta dažādu stāvokļu atpazīšanas un parametru mērišanas. Koeficiente 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.



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

Mērišanas sistēmas investīciju atmaksas koeficients (IAK) tiek rēķināts pēc 1. formulas:

$$IAK = \frac{SI}{Ieg \times ObjSk \times Nprob \times NAprob} \quad (1)$$

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

Precīzās lauksaimniecības sistēmu ieviešanas izvērtēšanas metodikas realizācijai ir izstrādāta arī datora programma *SEPA* (no angļu val. *System Evaluator for Precision Agriculture*), ar kuras palīdzību var veikt aprēķinus un salīdzināt vairāku sistēmu IAK (skat. 3. att.). Programma ir veidota no vairākiem blokiem, kuri atbilst piedāvātās metodikas posmiem. Programma ir brīvi pieejama lejupielādēšanai pēc adreses: <http://www.ccsystems.lv/software/sepa>.

Notikums	Mērsistēma	Altpaz. varbūtība	Ieguvuma daļa	IAK
Saimēs nāve	Skāja	1	100	3
Saimēs spiešana	Skāja	0.4	50	6
Saimēs nozagšana	Skāja	0.4	32	9.38
Saimēs nāve	Temperatūra	0.8	80	2.5
Saimēs spiešana	Temperatūra	0.6	75	2.67
Saimēs nozagšana	Temperatūra	0.2	16	12.5
Saimēs nozagšana	Video	1	80	1.5
Saimēs nozagšana	Masa	0.6	48	20.83

### 3. att. Lauksaimniecības mērsistēmas ieviešanas investīciju atmaksas aprēķināšanas algoritma realizācijas programma

#### Modeļu sadarbības metodika lēmumu atbalsta sistēmās

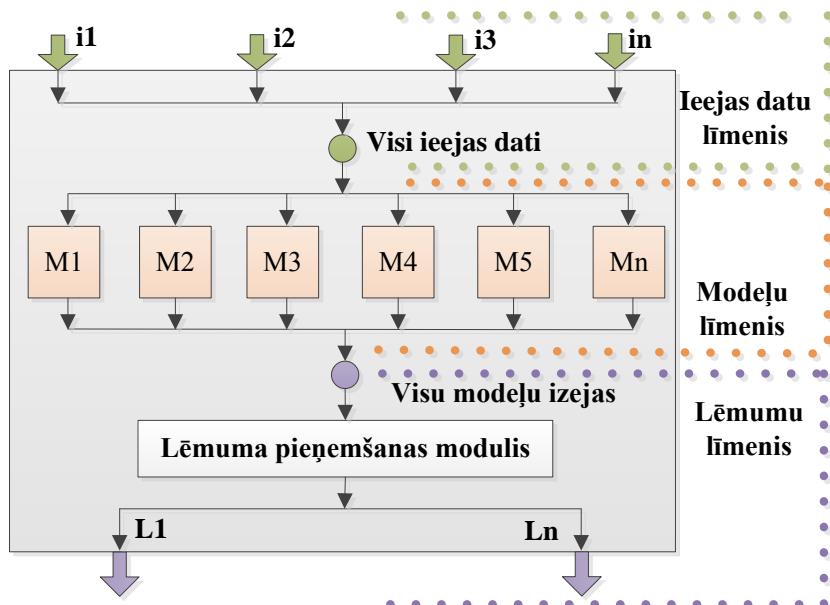
Promocijas darba autors uzskata, ka nepamatoti maza uzmanība PL uzdevumu risināšanas procesā ir pievērsta dažādu modeļu izmantošanai. Risinot konkrētu uzdevumu, ir iespējams operēt ar vairākiem modeļiem, ko varētu nosaukt par daudzmodeļu vadību, kas, pēc autora domām, uzlabotu lēmuma pieņemšanas sistēmas darbību. Modeļu izmantošanu vadības sistēmā nosaka nepieciešamība ar

modeļu paīdzību izvērtēt procesa līdzšinējo progresu un tā attīstības prognozes vadības iedarbju realizācijā.

Bioģisku 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 modifīcēt klasiku lēmuma atbalsta procesu. Darba autors piedāvā lēmuma pieņemšanas procesā lietot modeļus, nevis tikai alternatīvu analīzei un seku modelēšanai, bet arī ar mērķi identificēt pētāmā objekta stāvokli un tādējādi 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. 4. 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.



4. att. Lēmuma pieņemšanas procesa trīs līmeņi

### **3. DAUDZOBJEKTU BIOSISTĒMAS DATORVADĪBAS PRAKTISKĀ REALIZĀCIJA PRECĪZAJĀ BIŠKOPĪBĀ**

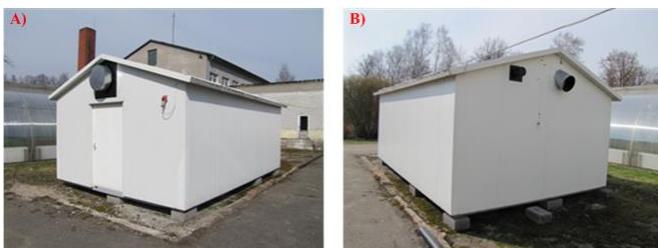
Promocijas darba ietvaros ir izstrādāta un eksperimentāli pārbaudīta uz modeļiem bāzēta, reāllaika, sadalīta, adaptīva bišu ziemošanas procesa vadība.

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 sistēmu var iedalīt vairākos logiskos 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 1. att. Autora izstrādātā bišu ziemošanas procesa vadības sistēmas arhitektūra ir dalāma atsevišķos elementos:

1. Ziemotavas temperatūras automatizētā vadības sistēma;
2. Sensoru tīkls temperatūras mērišanai 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.

Praktiskie bišu ziemināšanas vadības eksperimenti notika specializētā bišu ziemotavā (skat. 5. att.).



5. att. **Bišu ziemotava** (skats no priekšas (A) un skats no aizmugures (B))

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.

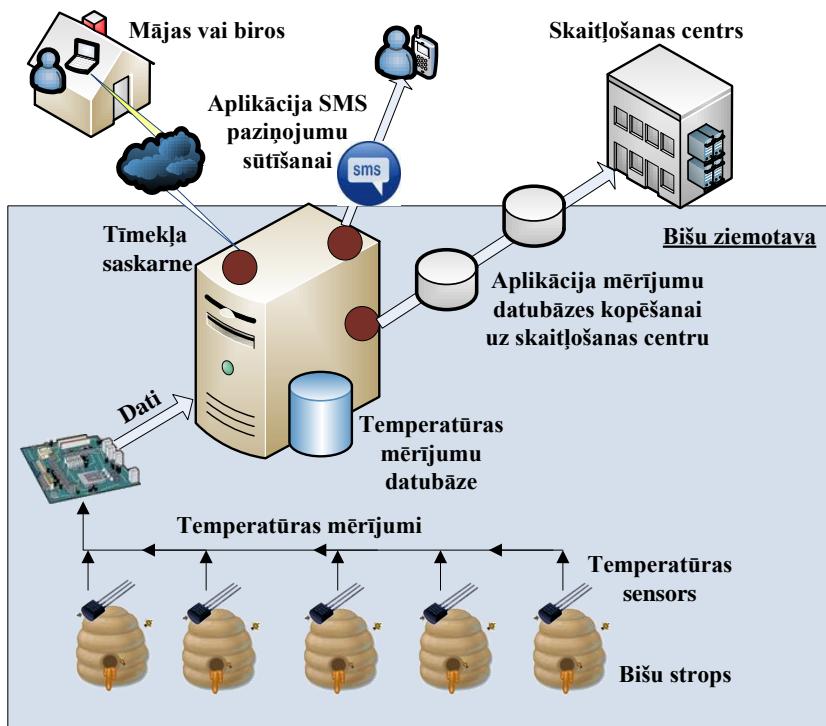
Lai atklātu un ierobežotu vai apturētu bišu saimes perošanas procesu, ir nepieciešams novērot temperatūras izmaiņas bišu saimes stropā. Šis specifiskais precīzās biškopības uzdevums varētu būt izpildāms šādi: temperatūras kontroles mērījumu veikšanai ir nepieciešams izvietot nelielu temperatūras sensoru bišu stropā virs bišu saimes ligzdas. Virs sensora paliek plēve, tad stropa griestīni, tad 5 centimetru putuplasta pakojums un stropa vāks.

Bišu ziemotavā ir realizēta vadu temperatūras mērīšanas sistēma (vadu sensoru tīkls). Temperatūras mērījumiem ir izmantoti *ds18s20*, kuri ir saslēgti vienotā tīklā, izmantojot 1-vada tīkla protokolu (no angļu val. 1-wire network). Sensoru mērīšanas diapazons ir no  $-55^{\circ}\text{C}$  līdz  $+125^{\circ}\text{C}$ , ar precizitāti  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .

Temperatūras mērījumu nolasīšanai un datu saglabāšanai ir izstrādāta informācijas sistēma, ar kuras palīdzību ir izpildītas pieminētās darbības.

Tā kā biškopim ir nepieciešama pastāvīga iespēja kontrolēt un uzraudzīt situāciju bišu stropos, papildus ir izstrādāta tīmekļa saskarne temperatūras mērījumu atspoguļošanai. Tas ļauj jebkurā laika brīdī paskatīties aktuālo temperatūru un arī veikt citas vienkāršas operācijas ar vēstures datiem. Biškopim jābūt pieejamam tikai internetam un datoram.

Kopējā bišu saimju temperatūras mērīšanas sistēmas arhitektūra ir atspoguļota 6. attēlā:



6. att. Bišu saimju temperatūras mērīšanas kopējā sistēmas struktūra

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.

## 4. BIŠU SAIMJU ZIEMINĀŠANAS VADĪBAS EKSPERIMENTI

Promocijas darba eksperimentālais darbs ir veikts bišu ziemotavā, uzraudzot 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 otrs 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.

2011.-2012. gada 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. Eksperimentā ir izmantoti Norvēģijas daudzkorpusu stropi ar izmēriem  $47 \times 47 \times 27$  cm, sienas biezums ir 4.5 cm.

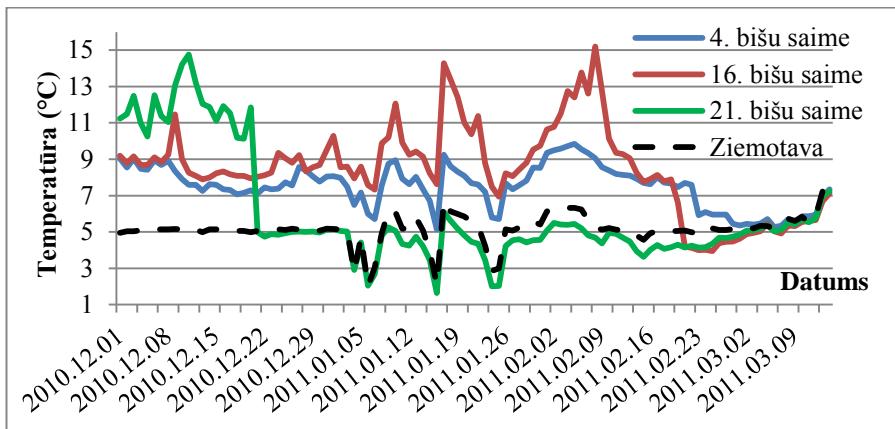
Bišu saimes temperatūras mērījumiem ziemotavā tika izmantots 1-vadu tīkls, kad temperatūras nolasījumi tika veikti katras 20 minūtes. Bišu saimes temperatūras mērījumiem āra apstākļos tika izmantota iegulta iekārta un temperatūras nolasījumi arī tika veikti katras 20 minūtes.

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.

Papildu temperatūras mērījumiem bišu stropi tika svērti vienu reizi nedēļā ar mērķi novērot stropu masas izmaiņas. Stropu masas izmaiņas novērtēšanai ir ņemta vērā arī tukša stropa masas izmaiņas. Masas mērījumiem tika lietoti platformas svari *KERN IFS 120KID* (maksimālais svars 120 kg) ar kļūdas robežu 2 g. Pati svēršanas procedūra, iespējams, ir ietekmējusi bišu saimes uzvedību, jo saime tika uzbudināta svēršanas brīdī pacelšanas dēļ un uzliekot uz svariem.

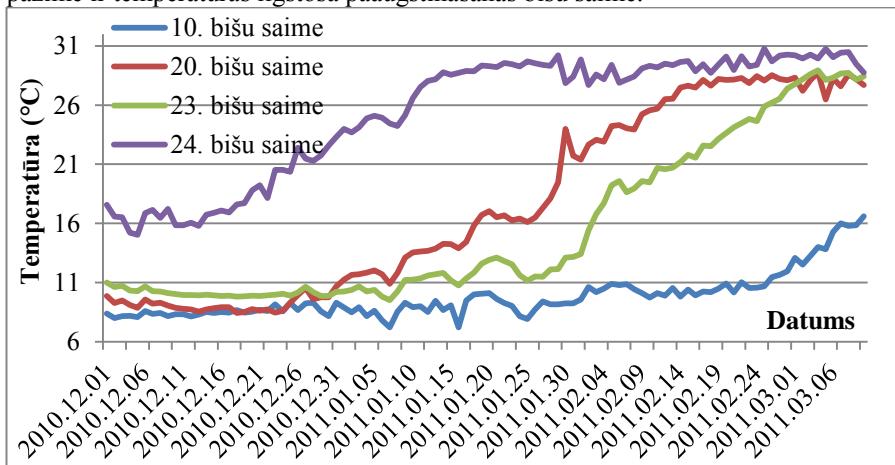
Pirmais praktiskais uzdevums bija noskaidrot, vai pēc temperatūras datiem jeb bišu saimes temperatūras mērījumiem biškopis varēs secināt un identificēs bišu saimes, kuras var potenciāli neizdzīvot un iet bojā. Bišu saimes bojāju var atklāt ar strauju temperatūras kritumu bišu saimē un temperatūras tuvināšanos iekšējai ziemotavas (vai āra saimēm - āra) temperatūrai (skat. 7. att.). Analizējot grafikus, var redzēt, ka vienā laika periodā bišu saimes temperatūra sāk kristies un tuvinās

ziemotavas gaisa temperatūrai, kas var liecināt par bišu saimes bojāju. Lai validētu un apstiprinātu šo apgalvojumu, ir nepieciešams vizuāli novērot bišu saimi. Pēc stropu atvēršanas ir secināts, ka bišu saimes tiešām ir gājušas bojā.



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

Otrs praktiskais uzdevums bija noskaidrot, vai pēc temperatūras datiem jeb bišu saimes temperatūras mērījumiem biškopis varēs secināt un identificēt bišu saimes, kuras sāka aktīvo perošanas procesu (skat. 8. att.). Aktīvas perošanas pazīme ir temperatūras ilgstoša paaugstināšanās bišu saimē.



8. 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.

Pēc eksperimentālajiem datiem daudzām 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.

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 bojāju. Bites sāk izlidot no stropiem, kad gaisa temperatūra ir virs +8°C.

Ziemotavas gaisa temperatūras pazemināšanās gadījumā novērojamā temperatūra bišu saimē arī pazeminās. 2010./2011. gadā eksperimentu laikā temperatūra ziemotavā uz ūsu 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.

Otrajā gadā, neskatoties uz to, ka sistēmas ieteicamā darbības temperatūra ir +5°C, tika pieņemts lēmums sākumā uz ūsu 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, 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, tad saimes temperatūra turpina turēties iepriekšējā līmenī un būtiski nesamazinās.

Papildus temperatūras mērīšanai tika veikta arī bišu saimju svēršana 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.

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 savu temperatūru.

## 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 energijas 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 logiskais 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, nemot vērā visiem bioloģiskajiem objektiem kopīgās īpašības.

Modeļu lietošanas izmantošana vadības sistēmā nosaka nepieciešamība ar modeļu palīdzību izvērtēt procesa līdzinējo 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 zimošanas laikā lēmuma atbalsta sistēma ir nepieciešama, lai biškopis varētu pieņemt uz reāla laika un vēsturisku datu analīzi balstītu lēmumu par zimošanas 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 zimošanas procesu. Ziemināšanas laikā tika mērīta temperatūra virs ligzdas 20 eksperimentālajām saimēm ziemotavā un 10 kontrolgrupas saimēm ārā ar intervālu 20 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/pazemināšana 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 precīzās 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.

## PARTICULARS

**Research was executed at:** Latvia University of Agriculture, Faculty of Information Technologies, Department of Computer Systems, Lielā 2, Jelgava, Latvia.

**Experimental research was executed at:**

1. Latvia University of Agriculture, Faculty of Information Technologies, Department of Computer Systems, Lielā 2, Jelgava, Latvia.
2. Latvia University of Agriculture, Institute of Agrobiotechnology, Strazdu 1, Jelgava, Latvia.
3. Latvia University of Agriculture, Bee wintering building, Strazdu 1, Jelgava, Latvia.

**Scientific Adviser of the Doctoral Thesis:** Dr.sc.ing. Egils Stalidzans, Associate Professor, Latvia University of Agriculture.

**The thesis was approved** at the expanded academic session of the Department of Computer Systems, Faculty of Information Technologies of the Latvia University of Agriculture on 3 of November, 2012. Minutes No 4.

**The doctoral thesis was developed with the assistance of the European Social Fund (ESF) project "Atbalsts LLU doktora studiju īstenošanai"** ("Support for the Implementation of Doctoral Studies at Latvia University of Agriculture" agreement No 2009/0180/1DP/1.1.2.1.2/09/IPIA/VIAA/017).

**Official Reviewers:**

1. Associate Professor of the Latvia University of Agriculture, Dr.sc.ing. Aivars Kakitis;
2. Professor of the University of Latvia, Dr.sc.comp. Leo Selavo;
3. Professor of the Aarhus University, M.Sc., Ph.D. Henrik Karstoft.

**The defence of the doctoral thesis** will take place at the open session of the Promotion Council in the field of Information Technologies of LUA at 10 a.m. on May 9, 2013, Room 218, Faculty of Information Technologies. Lielā 2, Jelgava.

The thesis can be accessed at the LUA Fundamental Library, Lielā 2, Jelgava, and online at [http://llufb.llu.lv/promoc\\_darbi.html](http://llufb.llu.lv/promoc_darbi.html)

**You are welcome to send your comments**, signed and in a scanned form to secretary of Promotion Council – Lielā 2, Jelgava, LV-3001; phone (+371) 63005621; e-mail: tatjana.tabunova@llu.lv.

**Council Secretary:** lecturer, Mg.Paed. Tatjana Tabunova.

## APPROBATION OF PHD THESIS

The research results are presented in the following publications:

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. (Indexed in the WEB of Knowledge database).
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. (Indexed in the WEB of Knowledge and INSPEC databases).
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. (Indexed in the SCOPUS and IEEE xplore databases).
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. (Indexed in the WEB of Knowledge and SCOPUS databases).
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. (Indexed in the WEB of Knowledge database).
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. (Indexed in the WEB of knowledge database).
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. (Indexed in the SCOPUS and IEEE xplore databases).
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. (Indexed in the IEEE xplore database).

9. **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.
10. **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). (Indexed in the WEB of Knowledge and SCOPUS databases).

The research results were presented at the following conferences:

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. „52nd International Scientific Conference at Riga Technical University”, October 15, 2011, Riga, Latvia.
7. Application of IT for monitoring and control of the bee wintering process. In Joint 3rd World Congress of Latvian Scientists and 4th Letonica Congress “Science, Society and National Identity”, 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.

The research results were presented at the following seminars:

1. „Programmable logical controller as brain of the control system”, 40th seminar of LUA Biosystems group, December 2, 2009, Jelgava, Latvia.
2. „Methodology of risk analysis and critical control points”, 54th seminar of LUA Biosystems group, April 14, 2010, Jelgava, Latvia.
3. „Sensor networks”, 60th seminar of LUA Biosystems group, September 15, 2010, Jelgava, Latvia.
4. „Remote control system for bee wintering building”, Seminar of LUA Faculty of Information Technologies Computer control group, May 10, 2010, Jelgava, Latvia.
5. „Siemens PLC”, Seminar of LUA Faculty of Information Technologies Computer control group, May 10, 2010, Jelgava, Latvia.
6. „Monitoring and automatized control of the bee wintering process”, Computer science days by University of Latvia and LMT, August 8-10, 2011, „Ratnieki”, Ligatne, Latvia.
7. „Monitoring the bee colony activity in the honey bee wintering building”, 2012 Nordic – Baltic Bee Research Symposium, February 3-5, 2012, Riga, Latvia.
8. „Bee colony wintering in the automatized wintering building”, Spring conference of the Latvian Beekeeping Association, March 17, 2012, Ramava, Latvia.
9. „Precision Agriculture approach for the bee wintering”, The Fourth seminar of smart sensors, May 21, 2012, Riga, Latvia.
10. „Sensors in the Precision Beekeeping”, Open seminar of the ERDF project „Development of technology for multiagent robotic intelligent system”, January 11, 2013, Riga, Latvia.

#### **Participation in the projects related to PhD thesis development:**

During the development of the PhD thesis the author has developed a project application for the international European-scale Project ICT-Agri with the topic „Application of the Information Technologies in Precision Apiculture”. In collaboration with project partners from Germany, Turkey, and Denmark, Latvia acts as the coordinator of the project. During the ICT-Agri expert meeting on November 7, 2012, the project application was accepted for realization starting from August 1, 2013.

# **INTRODUCTION**

## **Theme topicality**

Nowadays information and communication technologies (ICT) provide indispensable support for business, agriculture, and production processes. The rapid development of information technologies and computer control allowed for individual monitoring of agricultural objects (plants or animals) or other biological objects with the main aim of controlling their development process. This, in its turn, allows controlling the agricultural objects in real time more effectively, taking into account object behaviour and environmental conditions. Such control of individual agricultural objects provided the foundation for a new interdisciplinary field called Precision Agriculture (PA).

The definition of Precision Agriculture is still developing and improving, because technologies that are used in PA are changing and human comprehension about what is theoretically and practically accessible is increasing. Over the years the emphasis of the definition has changed from simple agriculture following soil characteristics (Robert, Stafford, 1999) to more complicated where quality of the end product and impact on the environment becomes more relevant (McBratney et al., 2005).

Precision Agriculture as agricultural system is based on computer applications for solving various agricultural tasks.

While implementing PA approach in practice, the agricultural specialist is able to achieve the main objective, which is – to produce qualitative products using as few resources as possible, which will guarantee the highest profit from the agricultural activities. To achieve this aim it is needed to provide plants or other objects with favourable growing conditions during the whole period of object development or growing. The favourable conditions are defined as situation when agricultural object is in suitable environment with good external parameters for its development. The environmental parameters can be the amount of light and its intensity, temperature and humidity, soil chemical content and other parameters. In situation when deviation from normal conditions happens it is necessary to adjust external parameters in order to return the observed process to desirable conditions for agricultural activities. The desirable object parameters for all periods are usually known taking into account earlier practical measurements and experiments, or farmer's own experience and expert knowledge.

Most of the agricultural processes are biological processes, where many interrelated objects are involved. Nowadays sensors, measurement devices or sensor networks are widely used in implementing monitoring activities for the individual objects. The task of the mentioned devices is to collect and transfer objects data to the end device, for example, to the computer for data processing and analysis. Recently, monitoring and control problems of the bioprocesses are considered to be important, and many researchers are focused on them.

The author of this PhD thesis puts an emphasis on the research of control of multiobject biosystems. In the thesis title a term „precision computer control” is used, which is defined based on Precision Agriculture concept and approach where individual object observations are very significant. Precision computer control is production or technological process control using the computer, taking into account the individual measurements of the objects involved in the process. Precision computer control of the multiobject biosystems directly indicates that many biological objects are individually monitored and controlled using various ICT tools. Based on individual object behaviour parameters, a control action is chosen with the main aim to prevent important parameters to exceed the critical limits, thus providing the necessary object development at any moment. In many cases control of the biosystems comparing to control of the technical systems is more complicated, because biological systems are self-regulated systems and the activity of other control system can lead to biosystems instability and to death of the biological object.

The author's thesis is clearly an interdisciplinary research where possible application of the computer control in the subfield of agriculture - beekeeping is demonstrated, starting from defining the Precision Beekeeping direction to demonstrating real IT systems, which can be practically implemented in beekeeping. It is chosen to investigate honey bee colony wintering process (*Apis mellifera L.*), because it is a good example of multiobject biosystem and nowadays researches about bee colony losses and health status are topical in Europe. The importance of the research topic can be certified by the fact that the ERA-net ICT-Agri project with the topic “Application of Information Technologies in Precision Apiculture (ITAPIC)” developed by author is accepted for the development.

Practical part of the thesis is developed using the PA idea and concept of an automatized control system for monitoring and control of bee colony activity during its wintering period in a specialized bee wintering building. Bee colony wintering period is a big part of the whole bee colony life cycle and, based on beekeepers knowledge the most bee colony losses are happening during the winter.

During the bee colony wintering process it is essential to achieve, that bee colonies would be potentially well-prepared to use the first planned honey forage, which in Latvian climate conditions usually is at the end of April. Depending on foraging time it is needed to control bee colony brood rearing process and start it on time. To complete this task it is necessary to place bee colonies into closed environment and use IT and automatized tools to monitor brood rearing activities.

The chosen PhD topic is relevant, because it deals with methodological problems of precision computer control in Precision Agriculture, which can improve agricultural profitability and at the same time reduce negative impact on the environment. PhD thesis practically demonstrates principles of precision technology implementation in the new fields of PA. As an example, the Precision Beekeeping concept is developed and computer control during three years experiments is demonstrated in beekeeping field.

## **The aim and the tasks of the PhD thesis**

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 biosystems.

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

1. Analyse the implementation of sensor networks and computer control in biosystem control and Precision Agriculture.
2. Analyse 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 implementation of Precision Agriculture in the honey bee wintering process.
5. Evaluate usability of the developed system for the bee colony state evaluation and control during the wintering process.

## **Research methods**

Analysis of the computer control system architectures is used to develop computer control system architecture for the control of the biosystems.

Survey of the beekeeping specialists is done using the quantitative research method – questionnaires.

Development of the computer software is done using the C# language.

Visualisation of the decision making processes algorithms is done using the flowcharts.

For the development of the decision support system the qualitative and quantitative modelling is used.

For the development of the PLC control programme the Ladder Logic language and Siemens Step7 MicroWin software is used.

Statistical methods are used for analysis of the experimental results.

Experimental bee colony temperature measurements are done using the one-wire architecture.

## **Scientific novelty**

- Architecture of the model based and distributed system is developed for the control and monitoring of the multiobject biological processes in the closed environment.
- Collaboration among the various types of models is implemented in the decision support systems.
- Formal method for evaluation of Precision Agriculture system implementation is developed.
- Precision Beekeeping principles are defined.

- Computer control system for the implementation of Precision Agriculture principles in beekeeping is developed.

### **Theses**

- Precision Agriculture approach for biological system control can improve production profitability and reduce negative impact on the environment.
- It is possible to implement the collaboration of models of various different types and dimensions for developing decision support system.
- It is possible to adapt Precision Agriculture approach for beekeeping.
- It is possible to develop a formal method for evaluating economic benefit of Precision Agriculture computer control system implementation.

### **Practical value**

- The developed application SEPA can be used in different agricultural fields to determine sequence for the implementation of the economically justified Precision Agriculture systems.
- Control and monitoring system architecture was used in the bee wintering control system, which was practically developed for bee colony wintering in winter periods of 2010-2011 and 2011-2012. As a result of the system operation, bee wintering process can be performed remotely in the controlled microclimate, eliminating unpredictable effect of the environment.
- The developed distributed, adaptive, automatized control system architecture can be used for control of the bioprocesses in the closed environment.
- The developed algorithms allow recognising different bee colony states based on temperature measurements.

### **PhD thesis structure and volume**

The PhD thesis is written in Latvian containing abstract, introduction, 4 chapters, conclusions, bibliography, and 7 annexes, including 13 tables, 108 figures, 152 pages in total. 150 literature sources were used.

## **1. APPLICATION OF THE COMPUTER CONTROL IN PRECISION AGRICULTURE**

In recent decades the rapid development of computer control, information and communication technologies allowed individual monitoring and control of individual agricultural or other biological objects. This, in its turn, allows implementing such control of Precision Agriculture objects when every needed control action happens taking into account the input data and individual specific parameters of individual objects. Conceptually PA can be described by three phase cycle where the first stage is data collecting, the second stage is data analysis and

interpreting, and the third stage is application of control action (Mancuso, Bustaffa, 2006).

Nowadays, the PA tasks are solved using simple scheme where process data collecting is achieved by sensors or sensor networks, and then based on data, a decision is made about the needed control action. Sensor networks become an important element in the PA systems.

Application of wireless sensors and sensor networks in agriculture and food industry is still in development stage, but it is possible to distinguish four categories where such systems are implemented: environment monitoring, Precision Agriculture, control of the production processes, and building automation (N. Wang et al., 2006).

It is proved that Precision Agriculture approach can be successfully adapted in many agricultural fields like Precision Livestock farming (Berckmans, 2006), Precision Horticulture (Zhou et al., 2012), Precision Viticulture (Morais et al., 2008; Bramley, Hamilton, 2004; Santesteban et al., 2012), etc. Apiculture (beekeeping) is one of the agricultural fields where Precision Agriculture approach can be adapted and implemented.

Adaptation of the PA methods and techniques in the beekeeping together with IT application can improve the beekeepers knowledge and understanding about behaviour of the individual bee colonies. The author of the PhD thesis defines Precision Apiculture term which is not mentioned in the scientific literature. The thesis author presented this topic at the 11th International Conference on Precision Agriculture in July 2012. Precision Beekeeping (PB) is apiary management strategy, based on monitoring of the individual bee colonies, with main aim to minimize bee colony resource consumption and maximize bee productivity (Zacepins et al., 2012).

Within the PhD thesis computer control and monitoring of the multiobject biosystem is demonstrated using the adaptive control system and wire temperature network with the main aim to optimize and automatize control of the bee wintering process.

While controlling the biological process it is important not only to provide suitable environmental parameters (for example temperature, humidity, food supplies etc.) for the biological objects but also implement the feedback by monitoring individual parameters of the controlled object (mass, colour, temperature, etc.). This approach is implemented in PA, but by extending application field and implementing such approach using the ICT; it can be called precision computer control of the biosystem.

## **2. ARCHITECTURE OF THE AUTOMATIZED CONTROL SYSTEM FOR THE PRECISION CONTROL OF THE BIOSYSTEM**

Architecture of the automatized control system is abstract depiction of the control system, where idealised models of the system components (elements) and its collaborations are described. Architecture elements are connected to each other and build whole automatized system and help to solve specific task on architecture level. On the same time system architecture leaves enough freedom for choosing specific technical devices and solutions and architecture is not linked to only one solution (Klir, 1990; Denisenko, 2009).

After analysing scientific publications it is concluded that authors usually propose an exact solution for exact problem, and there is no literature on control system architecture suitable for various PA variations.

System architecture should be developed taking into account several features: it is needed to provide remote controlling of the system; system should be distributed, which means that in the geographical location where biological process takes place only minimum of the needed system for autonomous control with low working environment requirements (wide range of humidity, temperature, vibrations) is situated. However, data processing system has to be situated in the environment suitable for the computational system. Also, it is needed to measure all involved object parameters to arrange the feedback for the control system. Therefore, the author within the research proposes unified control system architecture for monitoring and control of the biological objects, which is based on the PA tasks model based solution scheme.

Control system architecture proposed by the author is demonstrated in Figure 1. The proposed control system architecture can be used for biological processes, which take place in closed environment and where microclimate parameters affect both the biological process and functioning and development of the whole biological system.

Biological process which takes place in closed environment is automatically controlled by the microclimate control system, based on measurements needed for the control. Examples of microclimate measurements are light intensity, humidity, temperature, air composition, etc. At the same time important parameters of the biological object are measured using specified measurement system. Measurement results are then transferred to the computational system, which performs data processing and analysis. Based on predefined models, computational systems recognize states of the monitored object. Taking into account additional data information sources (for example, weather forecast) computational system itself or involving the operator makes a decision about the necessity of changing the parameters of the microclimate control system with the main aim to affect biological object and change its state and/or behaviour.

Architecture for biosystem control proposed by the author can be divided in several system elements where each of them can be developed separately. The mentioned elements are microclimate control system, biosystem parameter measurement system and decision support system.

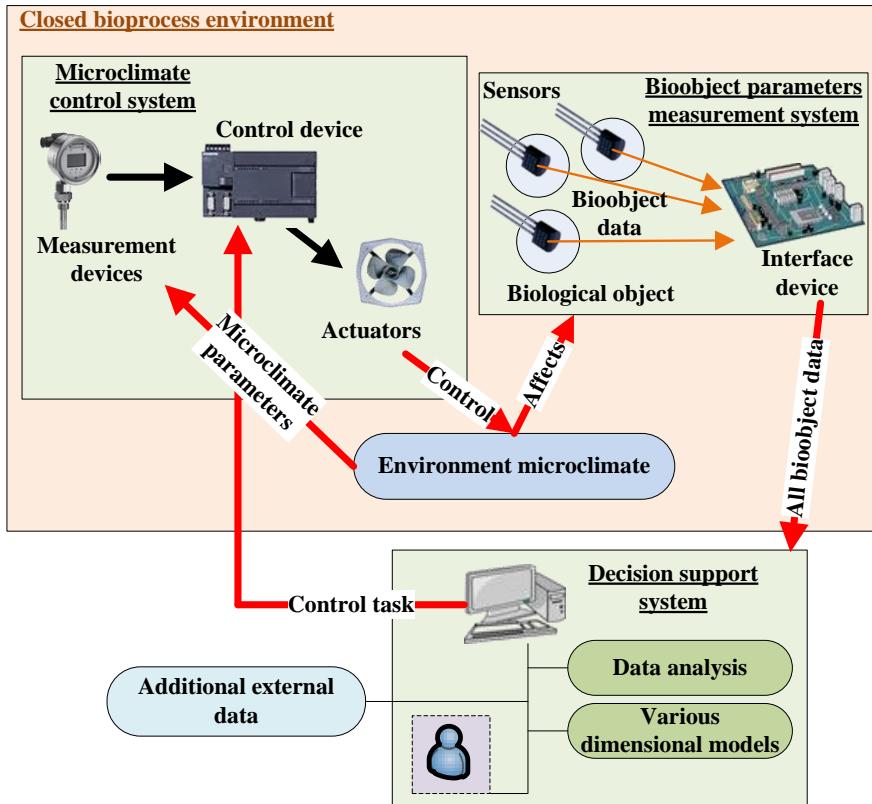


Figure 1. Architecture of the adaptive, distributed control system for the closed environment biological process

### Method for usefulness evaluation of measurement system implementation in Precision Agriculture

A step for selection of the measurement system for completing the biological object monitoring task is important one. Sustainable agriculture should operate with a profit. Therefore, in order to implement various precision agriculture events and measurement system a criterion is defined: the rate of the return of investment (ROI). One of the PA tasks is to continuously collect real time data about agricultural objects to monitor object behaviour and state of development to recognize any anomalous events or important states. After state

recognition it is necessary to take actions to prevent potential losses or to achieve better result comparing to traditional agriculture. So the main question is how to evaluate effectiveness of the PA events taking into account economic aspects. This economical evaluation should help to implement PA concept with effective and more beneficial activities.

In many cases objects could have many different important parameters which have to be monitored; therefore, it is necessary to evaluate which parameter should be monitored and which measurement system has to be implemented.

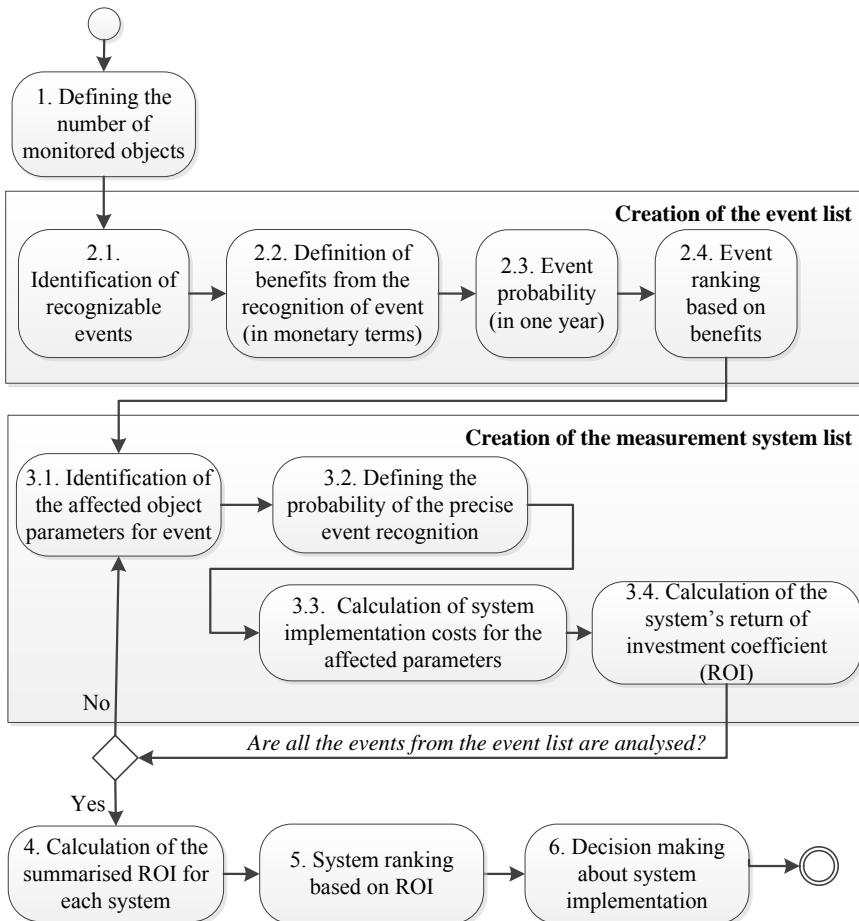
The author of the thesis proposes formal method (see Figure 2) for rational measurement system implementation in precision agriculture. The method will help to determine return of investment coefficient for measurement system implementation, and thus, evaluate gains and/or losses after recognition of different object states.

ROI measurement unit is number of years, and it expresses how fast investments in the implementation of specific measurement system will be returned. The method is based on various stages, which should be completed sequentially. Based on the proposed method, a farmer will be able to evaluate all theoretically possible measurement systems and determine which one is more suitable and more effective for practical implementation. The proposed method can be used in different precision agriculture branches.

Return of investment coefficient for the implementation of the parameter measurement system is calculated using Formula 1.

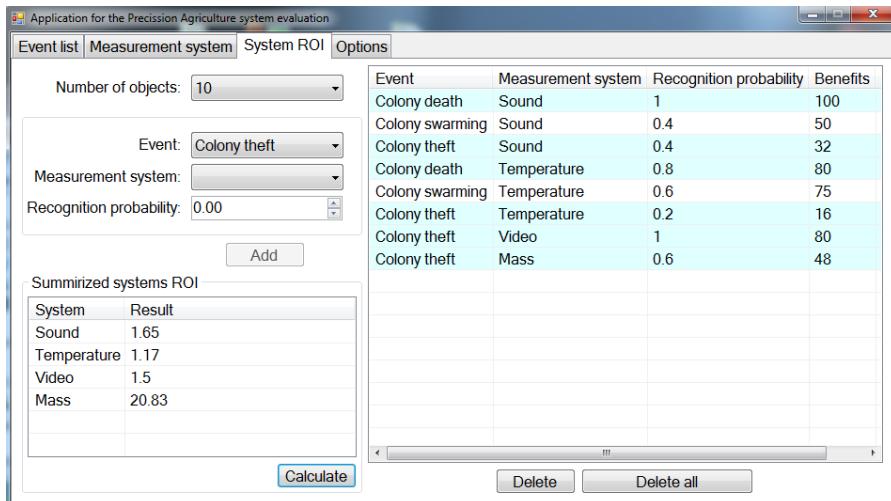
$$IAK = \frac{SI}{Ieg \times ObjSk \times Nprob \times NAprob} \quad (1)$$

- where  $SI$  - costs of measurement system implementation;  
 $Ieg$  - benefits from one event recognition;  
 $ObjSk$  - number of measured objects;  
 $Nprob$  - probability of event in one year period;  
 $NAprob$  - probability of precise event recognition;  
 $IAK$  - return of investment coefficient (in years).



**Figure 2. Formal method for evaluation of measurement systems in PA demonstrated as flowchart**

The author also developed SEPA (System Evaluator for Precision Agriculture) application to ease the calculations of the ROI coefficients for the specific branch (see Figure 3). Application consists of 4 modules, which are based on proposed method. Application is available for download at <http://www.ccsystems.lv/software/sepa>.



**Figure 3. Application for ROI calculation to evaluate agricultural measurement system implementation**

### Models collaboration methodology in decision support systems

The author of the thesis considers that unreasonably low attention is devoted to usage of different models while solving PA tasks. While solving a specific task it is possible to use various models; it can be called multi model control which can improve the activity of the decision taking system. The necessity of model implementation in control systems can be proved by the fact that it is important to evaluate the progress of the monitored process and predict its development in order to choose correct control action.

While controlling biological systems scientists usually lack trusted and complete information about the state of controlled object, as well as behaviour algorithms. At the same time it is possible to analyse multiple separate information units that can be described by different models. The author of the thesis offers to modify classical decision support process and proposes to use models not only for choosing the alternate solutions and modelling the consequences, but also for identifying the state of the research object to precisely advise the decision alternative. One more feature is that not only one model is used to identify the problem, but several qualitative and/or quantitative models.

Decision making process proposed by the author can be split into three levels (see Figure 4):

- *input data level* – in this level the needed data about the researched process and about the object are defined;

- *model level* – in this level all obtained data are used by various different dimension models with the aim to determine both the state of the object and process status;
- *decision level* – in this level all model outputs are analysed with the aim to choose problem solution.

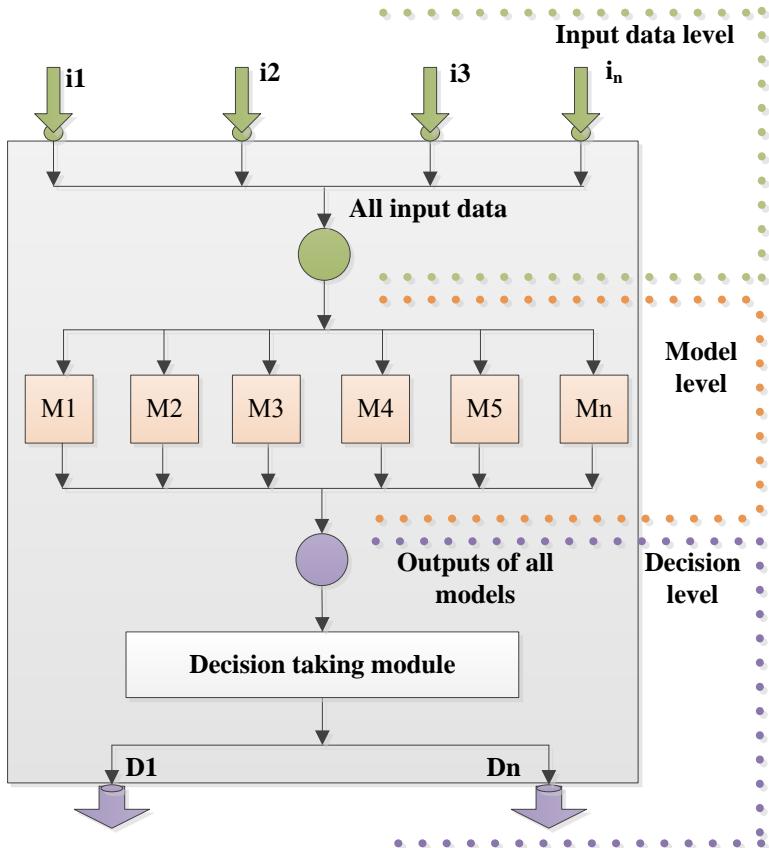


Figure 4. Three levels of the decision making process

### 3. PRACTICAL IMPLEMENTATION OF THE COMPUTER CONTROL OF THE MULTIOBJECT BIOSYSTEM IN PRECISION BEEKEEPING

Within the PhD thesis a model based, real time, distributed, adaptive control of the bee wintering process is developed and experimentally tested.

Bee wintering process is a biological process, since biological organisms are involved. Monitoring and control of such process is a rather complicated

nontrivial task, because it is hard to predict biological system reaction to human intervention.

The developed system can be divided in several logical blocs, where each of them is independent and has its own functionality. The developed system is based on the proposed architecture of biological object control, which is demonstrated in Figure 1. System elements of the author developed architecture for bee wintering process control are mentioned below:

1. Automatized system for temperature control in the wintering building;
2. Sensor network for bee colony temperature measurements;
  - 2.1. Architecture of the sensor network;
  - 2.2. Process of collecting temperature measurements;
  - 2.3. Temperature measurement WEB interface;
3. Tool for temperature data summarising and analysing;
4. Collecting and analysis of additional external data;
5. Decision taking algorithm about temperature change in the wintering building;
6. Decision verification process (verification by beekeeper);
7. Process of the target temperature change of the temperature controls system.

Practical experiments of the bee wintering control took place in a specialized bee wintering building (see Figure 5):

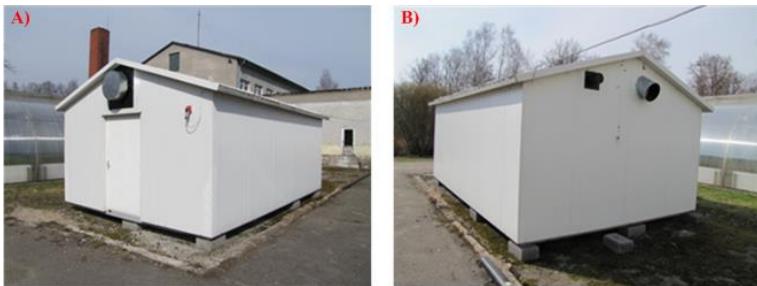


Figure 5. **Bee wintering building** (frontal view (A) un rear view (B))

One of the important aspects during the bee colony wintering process is to prevent bee colony from early start of brood rearing process. This process can cause additional energy consumption, death of the brood in case of freeze or even death of the whole colony.

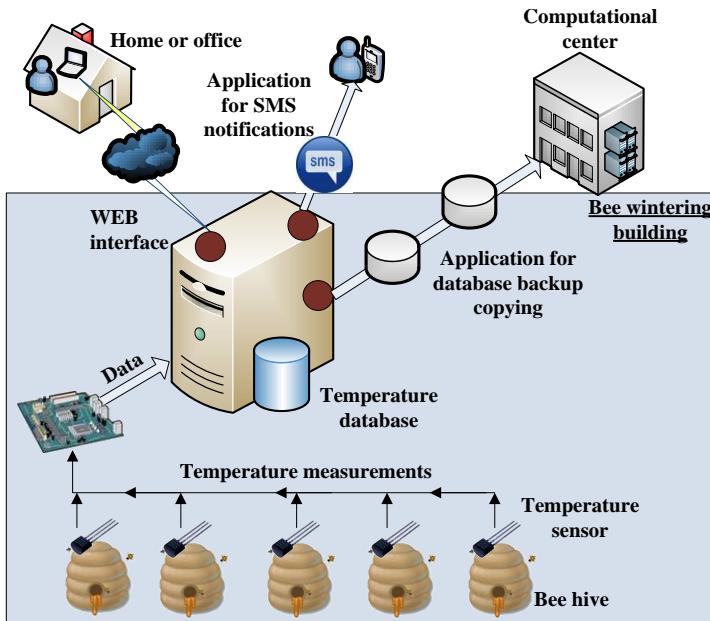
To detect and limit or even to stop bee colony brood rearing process it is necessary to monitor temperature changes of the bee colony in the hive. This specific task of the Precision Beekeeping can be completed as follows: for monitoring temperature a small sensor have to be placed in the hive above the bee nest. Above the sensor there is polyethylene foil, hive ceiling, 5cm heating isolation and hive cover.

In the bee wintering building the wired temperature measurement system is implemented. Ds18s20 sensors are used for the temperature measurements, which are sequentially connected using the 1-wire protocol. Sensors sensing range is from -55°C to +125°C with accuracy up to 0.5°C.

Additional information system is developed for temperature data collecting and data saving processes.

As the beekeeper needs to permanently monitor its own bee colonies, additional WEB system is developed for real time data demonstration. This system allows checking bee colonies temperature at any time from any place where Internet connection is available. Also, additional options are implemented in the system.

Whole system architecture for the bee colony temperature measurements are demonstrated in Figure 6:



**Figure 6. Whole system architecture for the bee colony temperature measurements**

Decision taking about the state of the biological object (bee colony state) the author based on various different dimension models when real object data are compared to previously developed models. During the bee wintering period both qualitative and quantitative models can be used. Models mainly are used to precisely predict the state of the biological system, its activity, and determine the stage of its development.

## **4. EXPERIMENTS OF THE BEE COLONY WINTERING CONTROL**

Practical experimental work of the PhD research took place in the bee wintering building while monitoring and controlling bee colony wintering process. During the practical work several tasks were completed. Experimental measurements were taken during two wintering periods (2 years). The first period took place in winter 2010 – 2011, the second one in winter 2011 – 2012. If in the first year strict requirements were not defined, then in the second year exact object groups and their distinctive features were defined.

In period 2011 – 2012, 20 bee colonies were used for the experiment of indoor wintering and 10 bee colonies for open air wintering. Bee colonies were divided in several groups depending on their size and hive heat isolation. Inside there were 10 colonies with heat isolation and 10 without it, while outside all colonies had heat isolation.

The outside hives were placed in the open near the wintering building under a cover that protects the hives from rain, snow and wind. For the experiment Norwegian type hives made of wood with size 47×47×27 cm and with wall thickness of 4.5 cm were used.

All indoor bee colonies were equipped with small digital temperature sensor ds18s20 for real time temperature measurements. Temperature was fixed every twenty minutes. All bee colonies outdoors were equipped with small temperature digital sensor Tsic506 and measurements were fixed every twenty minutes using the embedded device.

Ambient air temperature in the wintering building was controlled within limits from 4°C to 6°C. Noise level of the air recirculation fan during the whole wintering period was 70dB; noise was fixed by testo 816 noise measurement device.

In addition to colony temperature measurements, the weighting of colonies was performed. Weighting procedure was performed once a week with the main aim to monitor changes of the bee hive mass. For precise evaluation of mass changes, the weighting of empty hive was done. For weighting the platform scales KERN IFS 120K1D were used. The weighting procedure of the colonies possibly affected the behaviour of the bee colonies, because they were enraged during the lifting and placing on the scales.

The first task of the practical experiment was to verify if, based on colony temperature measurements, beekeeper will be able to identify colonies which can potentially die. This conclusion can be made at the point when colony temperature sharply decreases and converges with external ambient temperature (see Figure 7).

During the data analysis it can be found that in one period of time colony temperature decreases and becomes equal to ambient air temperature that may indicate the death of the bee colony. To validate this conclusion it is necessary to open the hive and visually observe the bee colony. After visual observation it was

approved that colonies were dead. This proves the hypothesis that after sharp decrease of the temperature beekeeper can make conclusions about bee colony vitality.

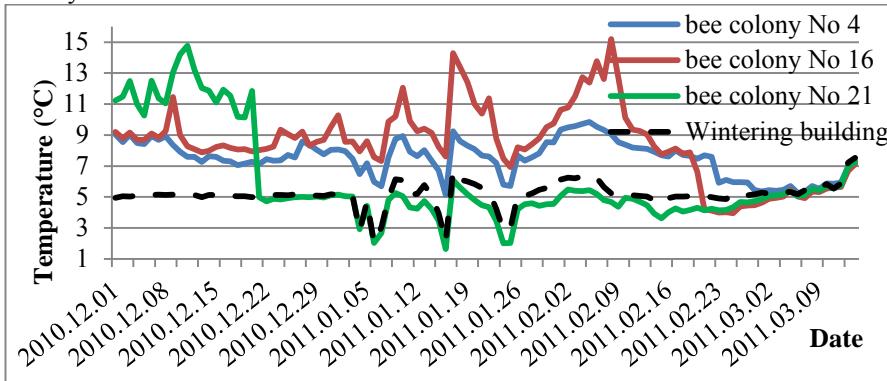


Figure 7. Identification of the bee colony death by produced bee warmth (2010-2011 wintering period). Bee colonies No 21, 16 and 4 are dead respectively on December 21, 2010, February 21, 2011 and March 5, 2011.

The second task of the practical experiment was to verify if, based on colony temperature measurements, beekeeper will be able to identify colonies which started the active brood rearing process. This conclusion can be made if the colony temperature started to increase fast or steady but permanently.

After experimental measurements the starting of the brood rearing process was observed for various bee colonies (see Figure 8).

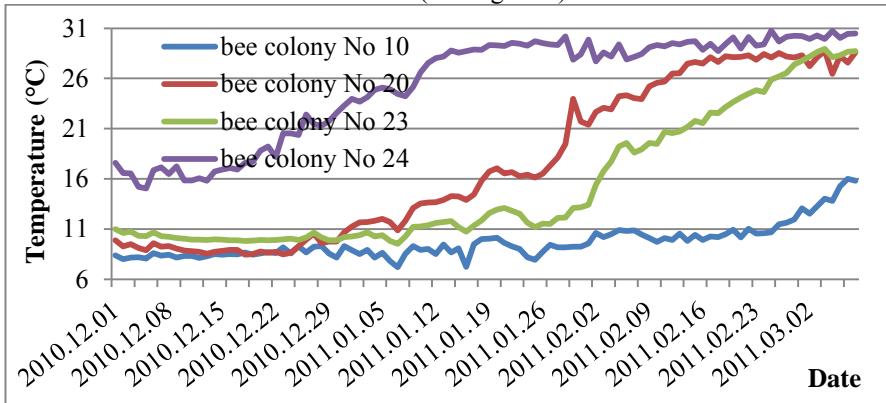


Figure 8. Identification of the bee colony brood rearing process by stable increase in colony temperature (2010-2011 wintering period). Bee colonies No 10, 20, 23 and 24 begin linear increase of the temperature respectively on December 13, 2010, December 23, 2010, January 22, 2011 and February 22, 2011.

It was well observed that increase in the colony temperature stops near +30°C. Knowing that for brood rearing it is necessary to obtain +35°C temperature, and the temperature outside the nest decreases sharply; +30°C temperature above the nest clearly indicates the state of active brood rearing.

The third task of the practical experiment was to verify if bee colonies respond to changes in the ambient temperature and if it is possible to affect the behaviour of the bee colony by decreasing or increasing the temperature.

When air temperature in the bee wintering building was increased, bee colonies became noticeably active and flew out from the hives. This is completely unacceptable, because it can lead to the death of the whole colony. It was observed that bees started to fly out from the hive when ambient air temperature was up to +8°C.

When air temperature in the bee wintering building was decreased, the temperature in the bee colony was decreasing as well. During the first year experiments, temperature in the building was decreased to +2°C. In author's case, decreasing temperature to the lower level was not possible, because both PLC control system and PC, which were situated in the same building, could stop operating.

During the second year experiments, despite the fact that the recommended temperature for the used devices is +5°C, ambient temperature in the building at the beginning was decreased to the +0°C and then heating in the building was stopped completely to see how bee colonies react to the huge (temperature decreased to -10°C), but not long temperature shock.

After analysing all bee colony reactions and behaviour during the temperature decrease and after the temperature shock, two important conclusions can be made. Firstly, if bee colony is in passive state then bee colony temperature is decreasing together with the decrease in ambient temperature. It is observed that temperature in the bee colony always is higher than 0°C, which means that bee colony is alive. Secondly, if bee colony is already in active brood rearing state then colony temperature is not changing even if ambient temperature is decreasing.

In addition to the bee colony temperature measurements, the bee colony weighting was also performed from December 14, 2011 till March 21, 2012. Bee hives were weighted once a week at the same time. There were weighted 20 hives inside, 10 hives outside and one empty hive inside and outside. It was necessary to weight also an empty hive for the correct record of the food consumption, because during the winter humidity is not constant and hive may dry and lose its mass. When relative humidity decreases, bee hive mass losses increase. It is accepted that mass losses for empty hive are equal to mass losses of hive with bees.

Mass losses of the bee colonies during the wintering time are variable. The outdoors wintered colonies started to increase food consumption from the 9th week. This can be explained by the fact that air temperature sharply decreases during that period, and colonies have to consume more food to maintain their temperature.

# **CONCLUSIONS**

## **The main PhD thesis results**

Precision Agriculture approach implementation is improved using the integration of various mathematical models in computer control of a multiobject biosystem.

1. *Implementation of sensor networks and computer control in biosystem control and Precision Agriculture are analysed.*

Various sensor network configurations, communication technologies and energy supply types are used in biosystem control systems depending on application type and on other features.

Application of Precision Agriculture methods are used to solve the task of improving the effectiveness of agriculture in various agricultural fields, like viticulture, livestock farming, horticulture etc. However PA application principles and methods are not developed in all fields.

To implement PA it is necessary to complete three phases – data collecting, data analysis and application of control action. Nowadays, data analysis stage limits the PA adaptation and development.

2. *Automatized control system development principles for biosystem control are analysed.*

Adaptive control systems are widely used for solving the biological process control tasks, because the result of implementing control actions is not easily predictable. This can be proved by the fact, that the biological process has no linear dynamic, and there is limited knowledge about biosystems and dynamic parameters of the processes. The main feature of the adaptive principle is its adaptability to previously unknown changes of the controlled object, which allows providing high working quality of the system in the variable working environment.

Programmable logical controller or PLC is a widely used automated device for controlling biological processes in their suitable environment.

3. *A model based automatized computer control system architecture for biosystem control is developed.*

After analysing scientific publications it is concluded that authors usually propose an exact solution for exact problem, and there is no literature on control system architecture suitable for various PA variations.

The model based, remote, automatized control system architecture developed by the author for biological object control allows unifying system development process by taking into account similar features of the biological objects.

Application of models in control system is needed to evaluate process progress and predict its development for precise implementation of control action. Control system should be a remote system to allow centralised control of the

geographically disseminated local biological systems. To control a complicated biological system the computer control system should be automatized not automatic, to allow the branch specialist to approve or deny the proposed solution of the decision support system.

4. *An individual biological object monitoring and control system for Precision Agriculture implementation in the honey bee wintering process is developed.*

Within the PhD research, based on bee colony temperature measurements, a model based, remote, automatized system for the Precision Beekeeping principles implementation in bee colony wintering at the specific wintering building with the controlled building temperature is implemented.

During the bee wintering period a decision support system is needed to help the beekeeper take a decision about control of the wintering process based on real time information and historical data analysis.

5. *Usability of the developed system for the bee colony state evaluation and control during the wintering process is experimentally evaluated.*

The PhD experimental work is completed at the LUA bee wintering building during three winter periods to monitor and control bee colony wintering process. During wintering time the bee colony temperature was measured in 20 indoor colonies and 10 outdoor colonies with time interval of 20 minutes. Once a week bee colonies were weighted. Ambient temperature and humidity in the wintering building and outside was measured as well. Accuracy of the bee colony temperature measurement system is evaluated.

The increase/decrease in the bee wintering building temperature promotes/hinders the start of the colony brood rearing process that allows achieving the desirable number of bee colonies during planned foraging time.

### **Conclusions and development prospects**

- A formal method of evaluating Precision Agriculture system implementation is developed. The method is based on benefit/costs analysis of measurement system combinative application and it is used to evaluate payback time of the measurement system implementation.
- By adapting PA approach in beekeeping, Precision Beekeeping (PB) is defined. PB is apiary control strategy, based on individual bee colony monitoring with the aim to minimize bee colony resource consumption and maximize bee productivity.
- Precision Beekeeping measurements can be divided into three groups: apiary level, colony level and individual bee level measurements.
- Based on bee colony temperature measurements it is possible to remotely identify bee colony death.
- Bee colony temperature below +10°C indicates that the bee colony is in the cluster.

- When ambient air temperature decreases, comparing with the target temperature in the wintering building, relative humidity in the wintering building also significantly decreases. This fact influences the results of the bee colony weighting therefore, it is necessary to take into account mass changes of the empty hive.
- Bee colony food consumption in the wintering building is not depending on the outdoor conditions and during the whole wintering period is between 200 and 300 grams per week.

Several directions can be highlighted as **future development prospects**.

- It is needed to analyse possibilities of adaptation of Precision Agriculture approach in other agricultural and biosystem control applications.
- To apply the developed architecture to computer control of other biosystems.
- To improve bee wintering control it is needed to make additional experiments to determine the usefulness of including additional microclimate parameters within the control system.
- To continue the development of Precision Beekeeping implementation during whole bee colony life cycle.
- To develop new mathematical models of object behaviour states.
- In addition to the developed system and PC applications it is needed to develop data exchange tools for data dissemination between various beekeepers with the aim to compare real time data of several bee apiaries. This helps to understand if behaviour features of the colonies are typical only for one apiary or for the whole region.

## LITERATŪRA

### BIBLIOGRAPHY

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Antamonov, J.G. (1977) *Modelirovaniye biologičeskikh sistem*. Kiev: Naukova Dumka. 260 p.
6. Anthony, R. (1965) *Planning and Control Systems: a Framework for Analysis*. Harvard University Graduate School of Business Administration. 180 p.
7. Arvanitis, K., Paraskevopoulos, P. (2000) Multirate adaptive temperature control of greenhouses. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 26, p. 303–320.
8. Ārgalis, J. et al. (1970) *Biškopība*. Riga: Zvaigzne. 488 lpp.
9. 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.
10. Bastin, G., Dochain, D. (1990) *On-line Estimation and Adaptive Control of Bioreactors*. Amsterdam: Elsevier. 379 p.
11. Baums, A., Cipa, A., Redjko, V., Zaznova, N. (2004) Reallaika un precizitātes jautajumi “1-Wire” daudzsensoru sistemas. *Scientific Proceedings of Riga Technical University, Computer Science*, Vol. 19, p. 42–46.
12. 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.
13. 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.
14. 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.

15. 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.
16. Berger, H. (2009) *Automating with SIMATIC*. 4th revise. Publicis publishing. 240 p.
17. Bongiovanni, R., Lowenberg-DeBoer, J. (2004) Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture*, Vol. 5, p. 359–387.
18. Bramley, R., Hamilton, R. (2004) Understanding variability in winegrape production systems. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, Vol. 10(1), p. 32–45.
19. Brennan, S., Mielke, A., Torney, D. (2004) Radiation detection with distributed sensor networks. *IEEE Computer Society*, Vol. 37(8), p. 57–59.
20. Brikman, M.S. (1982) *Metod prostranstva sostojanij v sovremennoj teorii upravlenija*. Riga: RPI. 53 p.
21. Burrell, J., Brooke, T. (2004) Vineyard computing: Sensor networks in agricultural production. *Pervasive Computing, IEEE*, Vol. 3, p. 38–45.
22. 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.
23. Carrillo, S.R., Zayos, H.D. (1999) Reflections on the contemporary problems and the changes in the environment and the beekeeping. *Apacta XXXIV*, p. 117–121.
24. Chao, K., Gates, R.S. (1995) Diagnostic hardware/software system for environment controllers. *Transactions of the ASAE*, Vol. 38, p. 939–947.
25. Chao, K., Gates, R.S. (1996) Design of switching control systems for ventilated greenhouses. *Transactions of the ASAE*, Vol. 39, p. 1513–1523.
26. 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.
27. Chavuenet, W. (1960) *A Manual of Spherical and Practical Astronomy*. Dover, NY.
28. Chong, C., Kumar, S.P. (2003) Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 91(8), p. 1247–1256.
29. Chuda-Mickiewicz, B., Prabucki, J. (1996) Temperature in winter cluster bee colony wintering in a hive of cold comb arrangement. *Pszczelnicze Zestyy Naukowe*, Vol. 40(2), p. 71–79.
30. Cipkin, J.Z. (1977) *Osnovi teorii avtomaticheskikh sistem*. Nauka. 560 p.
31. Conradt, L., Roper, T.J. (2005) Consensus decision making in animals. *Trends in Ecology and Evolution*, Vol. 20(8), p. 449–56.
32. Courtney, J., Paradice, D.B. (1993) Studies in managerial problem formulation systems. *Decision Support Systems*, Vol. 9, p. 413–423.
33. 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.

34. Culler, D., Estrin, D., Srivastava, M. (2004) Overview of sensor networks. *IEEE Computer Society*, Vol. 31(8), p. 41–49.
35. 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.
36. Daskalov, P., Arvanitis, K., Pasgianos, G. (2006) Non-linear adaptive temperature and humidity control in animal buildings. *Biosystems*, Vol. 93(1), p. 1–24.
37. Denisenko, V. (2009) *Kompyuternoe upravlenie tehnologicheskim processom, eksperimentom, oborudovaniem*. Gorjachaja linija – Telekom. 608 p.
38. 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.
39. Dirvens, I. (2011) *Bišu saimes lieluma dinamikas modelēšanas lietojumprogrammas BeeCount izstrāde*. Jelgava, Latvia: LLU. 52 lpp.
40. Dochain, D., Vanrolleghem, P. (2001) *Dynamical Modelling and Estimation in Wastewater Treatment Processes*. IWA Publishing. 343 p.
41. Dukulis, I. (2011) Lekcijas TF Lauksaimniecības enerģētikas studiju programmas un TF 1. līmeņa profesionālās augstākās izglītības studiju programmas Tehniskais Eksperts studentiem “Inženierdarba pamatos”.
42. Dunham, W. (1926) Hive temperatures for each hour of a day. *Ohio Journal of Science*, p. 181–188.
43. 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.
44. 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.
45. 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.
46. 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.
47. 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*.
48. 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.
49. 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.

50. Fingler, B., Small, D. (1982) Indoor wintering in Manitoba. *The Manitoba Beekeeper Fall*, p. 7–20.
51. Furgala, B., McCutcheon, D.M. (1992) Wintering productive colonies. In: *The Hive and the Honey Bee*, p. 829–869.
52. Galīš, A., Leščevics, P. (2008) *Programmējamie loģiskie kontrolleri*. Jelgava, Latvia: LLU. 135 lpp.
53. Gardner, J., Varadan, V. (2001) *Microsensors, MEMS, and Smart Devices*. New York: Wiley. 117 p.
54. Gates, R.S. (1991) Field evaluation of integrated environmental controllers. *Paper-American Society of Agricultural*, p. 26.
55. Gauthier, J., Kupka, I. (1994) Observability and observers for nonlinear systems. *SIAM Journal on Control and Optimization*, Vol. 34(4), p. 975–994.
56. 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.
57. Gorry, G., Morton, M. (1971) A framework for management information systems. *Sloan Management Review*, Vol. 13(1), p. 50–70.
58. Hansen, J. (1998) Field specific and regional warning for development of potato late blight. In: *Proceedings from Workshop: European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight*, p. 125–136.
59. Hansen, J., Andersson, B. (1995) NEGFRY-A system for scheduling chemical control of late blight in potatoes. In: *Proceedings of the EAPR Phytophtora 150 Sesquicentennial Scientific Conference*, Dublin, Ireland, p. 201–208.
60. Holjushkin, J.P., Grazhdannikov, E.D. (2000) Sistemnaja klassifikacija arheologicheskoy nauki [online] [accessed 30.08.2011] Available at: <http://www.sati.archaeology.nsc.ru/Home/pub/index.html>.
61. 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.
62. Jeskov, J.K. (1983) *Mikroklimat pcelinogo zilischa*. Moscow: Rosselhozizdat. 191 p.
63. 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.
64. 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.
65. Klimavičius, V. (2002) *Automātiskā vadība*. Rīga, RTU. 233 lpp.
66. Klir, Z. (1990) *Sistemotologija. Avtomatizacija reshenija sistemnih zadach*. Moscow: Radio i svjazj. 544 p.

67. 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.
68. Kristapsone, Ē., Stalidzāns, E., Bērzonis, A., Kaķītis, A. (1996) Racionālas bišu saimju ziemotavas. *Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Raksti*, Vol. 6, lpp. 94–101.
69. 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.
70. 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.
71. 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.
72. 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.
73. 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.
74. Liu, G. (2003) Application of Bluetooth technology in greenhouse environment, monitor and control. *Journal of Zhejiang University*, Vol. 29, p. 329–334.
75. 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.
76. 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.
77. Mahan, J., Wanjura, D. (2001) Upchurch, design and construction of a wireless infrared thermometry system. *The USDA Annual Report*.
78. 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.
79. Mangold, S., Choi, S., May, P. (2002) IEEE 802.11 e Wireless LAN for Quality of Service. *European Wireless*, Vol. 2, p. 32–39.
80. Markovics, Z., Stalidzans, E., Berzonis, A. (2002) Racionālas vadības noteikšana bišu ziemotavas temperatūras regulēšanai. *Rīgas Tehniskās universitātes raksti*, Vol. 5(11), lpp. 39–44.
81. McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., Bouma, J. (2005) Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture*, Vol. 6, p. 7–23.

82. Meitalovs, J., Histjajevs, A., Stalidzans, E. (2009) Automatic Microclimate Controlled Beehive Observation System. In: *8th International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”*, Jelgava, Latvia: Latvia University of Agriculture, p. 265–271.
83. 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.
84. Mihalik, J. (1980) Highly efficient production system for beekeeping. *Apacta*, Vol. 15(4), p. 145–151.
85. Mizunuma, M., Katoh, T. (2003) Applying IT to farm fields—a wireless LAN. *Technology and Science*, Vol. 1, p. 6–60.
86. 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.
87. 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.
88. Nishimura, C., Conlon, D. (1994) IUSS dual use: Monitoring whales and earthquakes using SOSUS. *Marine Technology Society Journal*, Vol. 27(4), p. 13–21.
89. Nolan, R.L., Croson, D.C. (1995) *Creative Destruction*. Harvard Business School Press. 259 p.
90. Osis, J. (1979) *Automātiskā vadība un regulēšana*. Riga: Zvaigzne. 268 lpp.
91. 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.
92. Pearson, J., Shim, J. (1995) An empirical investigation into DSS structures and environments. *Decision Support Systems*, Vol. 13, p. 141– 158.
93. 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.
94. 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.
95. Perrier, M., Dochain, D. (1993) Evaluation of control strategies for anaerobic digestion processes. *International Journal of Adaptive Control*, Vol. 7, p. 309–321.
96. 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.

97. Petre, E., Selisteanu, D. (2008) Adaptive control strategies for a class of anaerobic depollution bioprocesses. In: *AQTR 2008, IEEE International Conference*, p. 159 – 164.
98. Pierce, F., Clay, D. (2007) *GIS Applications in Agriculture*. USA: Taylor & Francis Group. 203 p.
99. Plant, R., Pettygrove, G. (2000) Precision agriculture can increase profits and limit environmental impacts. *California Agriculture*, Vol. 54(4), p. 66–71.
100. 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.
101. Proffitt, T. (2006) *Precision Viticulture: a New Era in Vineyard Management and Wine Production*. Ashford, Australia: Winetitles. 90 p.
102. Robert, P., Stafford, J. (1999) Precision Agriculture: research needs and status in the USA. In: *Conference on Precision Agriculture*, p. 19–33.
103. Rubin, A.B., Pitjeva, N.F., Riznichenko, G.J. (1987) *Kinetika biologicheskikh processov*. Moscow: MGU. 300 p.
104. 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.
105. 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.
106. 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.
107. 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.
108. Serodio, C., Cunha, J.B., Morais, R. (2001) A networked platform for agricultural management systems. *Computers Electronics in Agriculture*, Vol. 31, p. 75–90.
109. 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.
110. Shim, J., Warkentin, M., Courtney, J. (2002) Past, present, and future of decision support technology. *Decision support*, Vol. 931, p. 1–16.
111. Simon, S. (1960) *The New Science of Management Decision*. New York: Harper Brothers. 175 p.
112. Sokolowski, J.A., Banks, C.M. (2009) *Principles of Modeling and Simulation*. New York: Wiley. 257 p.
113. 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.

114. 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.
115. 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.
116. Stalidzans, E. (2005) *Datorvadības algoritmi daudzobjektu bioloģiskām sistēmām*. Riga. 126 lpp.
117. Stalidzans, E., Berzonis, A. (1994) Bišu krituma dinamika ziemojošās saimēs. *Latvijas Lauksaimnieks*, (7), p. 13–15.
118. Stalidzans, E., Berzonis, A. (1999) Analytical development model of bee colony. *Environmental Simulation*, (41), p. 14–21.
119. 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.
120. Stanghellini, C. (1992) Environmental control of greenhouse crop transpiration. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Vol. 51, p. 297–311.
121. 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.
122. Stipanicev, D., Marasovic, J. (2003) Networked embedded greenhouse monitoring and control. In: *Proceedings of 2003 IEEE Conference*, p. 1350–1355.
123. Šnīders, A. (2008) *Automātiskās vadības pamati*. Jelgava, Latvia: LLU. 159 lpp.
124. 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.
125. Testezlaf, R., Larsen, C.A., Yeager, T.H., Zazueta, F. (1999) Tensiometric monitoring of container substrate moisture status. *HortTechnology*, Vol. 8, p. 105–109.
126. Timmerman, G., Kamp, P.G.H. (2003) Computerised Environmental Control in Greenhouses. *PTC, The Netherlands*, p. 15–124.
127. 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.
128. 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.
129. Vivoni, E., Camilli, R. (2003) Real-time streaming of environmental field data. *Computational Geoscience*, Vol. 29, p. 457–468.

130. 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.
131. Voskanjanc, A. (2010) *Avtomatizirovannoe upravlenie processami prokatki*. Moscow: MGTU. 85 p.
132. 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.
133. 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.
134. 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.
135. 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.
136. 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.
137. 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.
138. 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.
139. 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.
140. 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.
141. 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.

142. 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).
143. Zacepins, A., Stalidzans, E., Meitalovs, J. (2012) Application of information technologies in precision apiculture. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Precision Agriculture (ICPA 2012)*, Indianapolis, USA.
144. Zhang, N., Wang, M., Wang, N. (2002) Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 36(2-3), p. 113–132.
145. 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.
146. 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.
147. 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.
148. 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.
149. Zubinskij, A. (2003) Raspilennaja razumnostj. *Komputernoe obozrenie*, Vol. 8, p. 73–74.
150. Zviedris, R., Elsts, A., Strazdins, G. (2010) LynxNet: wild animal monitoring using sensor networks. *Real-World Wireless Sensor Networks*, p. 170–173.