

Latvijas Lauksaimniecības universitāte  
Latvia University of Life Sciences and Technologies

Informācijas tehnoloģiju fakultāte  
Faculty of Information Technologies



Mg.sc.ing. **Armands Kviesis**

**LĒMUMU ATBALSTA SISTĒMAS PIELIETOJUMS  
DAUDZOBJEKTU BIOLOGISKO SISTĒMU VADĪBĀ**

**APPLICATION OF DECISION SUPPORT SYSTEM IN  
CONTROL OF MULTIOBJECT BIOLOGICAL SYSTEM**

Promocijas darba KOPSAVILKUMS

Dr.sc.ing. zinātniskā grāda iegūšanai

**SUMMARY**

of the Doctoral thesis for the scientific degree of Dr.sc.ing.

**Armands Kviesis**

\_\_\_\_\_  
**Paraksts/Signature**

Jelgava

2019

# **INFORMĀCIJA**

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

**Eksperimentu izpildes vieta:** Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Informācijas tehnoloģiju fakultāte, Datoru sistēmu katedra, Lielā iela 2, Jelgava, Latvija; Augsnes un augu zinātņu institūts, Strazdu iela 1, Jelgava, Latvija.

**Promocijas darba zinātniskais vadītājs:** Dr.sc.ing., Asoc.prof. Aleksejs Zacepins.

**Darbs akceptēts** LLU Informācijas tehnoloģiju fakultātes Datoru sistēmas katedras paplašinātajā akadēmiskajā sēdē 2019. gada 26. februārī. Protokols nr. 2.

**Oficiālie recenzenti:**

1. Latvijas Lauksaimniecības universitātes profesors, Dr.sc.ing. Aivars Kaķītis;
2. Rīgas Tehniskās universitātes profesors, Dr.sc.ing. Agris Ņikitenko;
3. Universidade Federal do Ceará (Brazīlija) asociētais profesors, Ph.D Danielo G. Gomes.

**Promocijas darba aizstāvēšana** notiks LLU Informācijas tehnoloģiju nozares promocijas padomes atklātajā sēdē 2019. gada 29. augustā Jelgavā, Lielā ielā 2, Latvijas Lauksaimniecības universitātes 278. auditorijā plkst. 10:00.

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

**Atsauksmes sūtīt** Promocijas padomes sekretārei – Lielā iela 2, Jelgava, LV-3001; tālrunis: 63022584; e-pasts: tatjana.tabunova@llu.lv. Atsauksmes vēlams sūtīt skenētā veidā ar parakstu.

**Padomes sekretāre:** LLU lektore, Mg.paed. Tatjana Tabunova.

DOI: 10.22616/lluthesis/2019.006

# SATURS

PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA.....	5
IEVADS .....	8
Promocijas darba mērķis un uzdevumi .....	11
Pētījuma metodes .....	11
Zinātniskais jauninājums un praktiskā vērtība .....	12
Pētījuma tēzes .....	12
Promocijas darba struktūra un apjoms .....	12
1. SISTĒMAS UN TO DAUDZVEIDĪBA .....	13
2. BIOLOGISKO DAUDZOBJEKTU UZRAUDZĪBA .....	14
3. BIŠU SAIMJU UZRAUDZĪBAS SISTĒMU ARHITEKTŪRAS .....	16
4. UZRAUDZĪBAS SISTĒMU PRAKTIKĀ REALIZĀCIJA .....	18
Vadu sistēmas pielietošana .....	18
Hibrīdsistēma – vadu un bezvadu tehnoloģiju apvienojums .....	19
5. LAS PROTOTIPA IZVEIDE BIŠU SAIMJU VADĪBAI.....	20
Piedāvātā LAS lēmumu pieņemšanas koncepcija.....	20
Izstrādātās bišu saimju vadības sistēmas arhitektūra .....	22
LAS zināšanu bāze un tās likumu definējumi .....	24
Realizētās FSS validācija un novērtējums .....	25
Spietošanas stāvokļa automatizēta atpazīšana .....	27
Alternatīvu analīze .....	29
Izvēlētās alternatīvas izpildes novērtējums .....	33
Izstrādātā LAS prototipa perspektīvas un uzlabojumi .....	33
SECINĀJUMI .....	35
Galvenie darba rezultāti .....	35
Secinājumi un attīstības perspektīvas .....	36
LITERATŪRAS SARAKSTS .....	69

## TABLE OF CONTENTS

APPROBATION OF PHD THESIS .....	39
INTRODUCTION .....	41
The aim and tasks of the PhD thesis.....	43
Research methods.....	44
Scientific novelty and practical value.....	44
Theses.....	45
PhD thesis structure and volume .....	45
1. DIVERSITY OF SYSTEMS .....	46
2. BIOLOGICAL MULTI-OBJECT MONITORING .....	47
3. MONITORING SYSTEM ARCHITECTURES.....	49
4. PRACTICAL IMPLEMENTATION OF MONITORING SYSTEMS .....	51
Wired monitoring system .....	51
Hybrid system – a combination of wired and wireless technologies.....	52
5. DEVELOPMENT OF DSS PROTOTYPE FOR HONEY BEE COLONY MANAGEMENT .....	53
Proposed DSS decision making concept .....	53
Architecture of the developed honey bee colony management system .....	55
DSS knowledge base and rule definition.....	56
FIS validation and evaluation.....	57
Automatic swarming identification .....	59
Analysis of alternatives .....	61
Assessment of the chosen alternative .....	64
Potential applications and improvements of the DSS prototype .....	65
CONCLUSIONS .....	66
Main results .....	66
Conclusions and development prospects.....	67
BIBLIOGRAPHY.....	69

## PROMOCIJAS DARBA APROBĀCIJA

Promocijas darba rezultāti publicēti šādos vispārātzītos recenzējamos zinātniskos izdevumos:

- 1) **Kviesis, A.**, Zacepins, A. (2015). System Architectures for Real-time Bee Colony Temperature Monitoring. *Procedia Computer Science*, 43C, pp. 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.12.012> (Indeksēta Web of Science, SCOPUS). **Autora devums: sagatavots visu nodaļu teksts.**
- 2) **Kviesis, A.**, Zacepins, A., Durgun, M., Tekin, S. (2015). Application of Wireless Sensor Networks in Precision Apiculture. In Proceedings of the 14th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT, pp. 440-445. (Indeksēta Web of Science, SCOPUS). **Autora devums: sagatavota ievada daļa, materiāli un metodes, rezultāti un daļēji secinājumi.**
- 3) **Kviesis, A.**, Zacepins, A., Riders, G. (2015). Honey bee colony monitoring with implemented decision support system. In Proceedings of the 14th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT, pp. 446-451. (Indeksēta Web of Science, SCOPUS). **Autora devums: visu nodaļu sagatavošana, arī praktiskā LAS izstrāde.**
- 4) **Kviesis, A.**, Zacepins, A. (2016). Application of neural networks for honey bee colony state identification. In Carpathian Control Conference (ICCC), 2016 17th International, pp. 413-417. (Indeksēta Web of Science, SCOPUS). **Autora devums: visu nodaļu sagatavošana un praktiskā izstrāde.**
- 5) Zacepins, A., **Kviesis, A.**, Ahrendt, P., Richter, U., Tekin, S., Durgun, M. (2016). Beekeeping in the future – Smart apiary management. In Carpathian Control Conference (ICCC), 2016 17th International, pp. 808-812. (Indeksēta Web of Science, SCOPUS). **Autora devums: ievada daļas un otrās nodaļas sagatavošana, kā arī autors praktiski realizējis sistēmas arhitektūru.**
- 6) Zacepins, A., **Kviesis, A.**, Stalidzans, E., Liepniece, M., Meitalovs, J. (2016). Remote detection of the swarming of honey bee colonies by single-point temperature monitoring. *Biosystems Engineering*, 148, pp. 76-80. (Indeksēta Web of Science, SCOPUS). **Autora devums: darbs pie ievada daļas, demonstrētā algoritma praktiskā izstrāde, testēšana un apraksts.**
- 7) Zacepins, A., Pecka, A., Osadcuks, V., **Kviesis, A.** (2017). Development of Internet of Things concept for Precision Beekeeping. In Carpathian Control Conference (ICCC), 2017 18th International. (Indeksēta Web of Science, SCOPUS). **Autora devums: darbs pie ievada; praktiski realizēta datu saņemšana un datu apskate sistēmas testēšanai.**
- 8) Zacepins, A., Pecka, A., Osadcuks, V., **Kviesis, A.**, Engel, S. (2017). Solution for automated bee colony weight monitoring. *Agronomy Research*, 15(2), pp. 585-593. (Indeksēta Web of Science, SCOPUS). **Autora devums: nodaļas teksts par datu sūtīšanu, kā arī praktiski realizēta datu saņemšana.**

- 9) **Kviesis, A., Klavina, A., Vitols, G.** (2017). Development of classroom microclimate monitoring system. In Proceedings of the 16th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT, pp. 719-724. (Indeksēta Web of Science, SCOPUS). **Autora devums: sagatavots materiālu, metožu, rezultātu un secinājumu nodaļas teksts.**
- 10) Komasilovs, V., Sturm, B., Nasirahmadi, A., Zacepins, A., **Kviesis, A.** (2018). Solution for remote real-time visual expertise of agricultural objects. *Agronomy Research*, 16(2), pp. 464-473. (Indeksēta Web of Science, SCOPUS). **Autora devums: darbs pie praktiskās realizācijas rezultātu ieguvei.**
- 11) Zacepins, A., Jelinskis, J., **Kviesis, A.**, Dzenis, M., Komasilovs, V., Komasilova, O. (2018). Application of LoRaWAN technology in precision beekeeping. In Agrosym 2018 Book of proceedings, pp. 1759-1765. **Autora devums: materiālu un metožu apraksts; darbs pie praktiskās realizācijas datu novirzīšanai uz nošķirtu datubāzi.**
- 12) Komasilovs, V., **Kviesis, A.**, Zacepins, A., Bumanis, N. (2018). Development of the data warehouse architecture for processing and analysis of the raw pig production data. *AGROFOR International Journal*, 3(3), pp. 64-71. <https://doi.org/10.7251/AGRENG1803064K>. **Autora devums: materiālu un metožu sagatavošana; darbs pie datu noliktavas izstrādes (mērījumu datu saskarne, atskaišu sagatavošana).**
- 13) Komasilovs, V., Zacepins, A., **Kviesis, A.**, Fiedler, S., Kirchner, S. (2019). Modular sensory hardware and data processing solution for implementation of the precision beekeeping. *Agronomy Research*, 17(2), pp. 509-517. (Indeksēta Web of Science, SCOPUS). **Autora devums: aparatūras savietošanas ar mākoņpakaļpojumu un datu noliktavas apraksts; praktisks darbs pie datu noliktavas izveides.**

Pētījumu rezultāti prezentēti šādās zinātniskās konferencēs:

- 1) "Honey bee colony temperature monitoring based on Raspberry Pi" 19. studentu starptautiskā zinātniski praktiskā konference "Human.Environment.Technology.", 22.04.2015, Rēzekne, Latvija.
- 2) "Implementation of wireless sensor network in precision apiculture" 10. starptautiskā zinātniskā konference "Students on Their Way to Science", 24.04.2015, Jelgava, Latvija.
- 3) "Application of Wireless Sensor Networks in Precision Apiculture" 14. starptautiskā zinātniskā konference "Engineering for Rural Development", 20.-22.05.2015, Jelgava, Latvija.
- 4) "Honey bee colony monitoring with implemented decision support system" 14. starptautiskā zinātniskā konference "Engineering for Rural Development", 20.-22.05.2015, Jelgava, Latvija.
- 5) "Future development perspectives of the Precision Apiculture (Precision Beekeeping)" 25. NJF kongress "Nordic View to Sustainable Rural Development", 16.06.2015-18.06.2015, Rīga, Latvija.

- 6) "Precīzās biškopības metožu pielietojums bišu saimju uzraudzībā". Zinātniski praktiskā konference "Līdzsvarota lauksaimniecība", 25.-26.02.2016, Jelgava.
- 7) "Application of Artificial Neural Networks for Honey Bee Swarming Identification" 7. starptautiskā konference "Biosystems Engineering", 12.-13.05.2016, Tartu, Igaunija.
- 8) "Application of Neural Networks for Honey Bee Colony State Identification" 17. starptautiskā konference "Carpathian Control Conference ICCC' 2016", Tatranska Lomnica, Slovākija.
- 9) "System Architectures for Honey Bee Colony Monitoring" 21. studentu starptautiskā zinātniski praktiskā konference "Human.Environment.Technology.", 19.04.2017, Rēzekne, Latvija.
- 10) "Application of Internet of Things for Beehive Management" 21. studentu starptautiskā zinātniski praktiskā konference "Human.Environment.Technology.", 19.04.2017, Rēzekne, Latvija.

## IEVADS

Sistēmās, to skaitā arī daudzobjektu bioloģiskajās sistēmās, viens no svarīgākajiem uzdevumiem ir sistēmā esošo procesu uzraudzība. Uzraudzībā iegūto informāciju var izmantot tālāko procesu darbības kontrolei, kas atsaucas uz kopējo sistēmu un var būtiski ietekmēt šīs sistēmas darbību. Līdz ar to ir ļoti svarīga procesu vadības iedarbe, kas atkarīga no sistēmas uzraudzībā iegūto datu analīzes, turklāt datu apstrādes rezultāts var sniegt arī prognozi par tālāko sistēmas stāvokli. Datu analīzes veikšanai, konkrēto sistēmu iespējams papildināt ar lēmumu atbalsta sistēmu (LAS). Šādas atbalsta sistēmas var būt pilnībā vai daļēji automatizētas.

Bioloģisko objektu uzraudzība var nodrošināt noderīgu un aktuālu informāciju par attiecīgās sistēmas stāvokli. Uzraudzības procesā tiek iegūti dati, kuru manuāla apstrāde un analīze ir laikietilpīgs un sarežģīts process. Lēmumu atbalsta sistēmas ieviešana sistēmas uzraudzībā var atvieglo datu apstrādes procesu. Turklat šāda sistēma var palīdzēt pārvaldīt un kontrolēt sistēmas darbību, un, pēc datu analīzes rezultātiem, informēt ieinteresēto personu par nepieciešamajiem veicamajiem uzdevumiem.

Daudzobjektu bioloģisku sistēmu var raksturot kā sistēmu, kuru veido vairāku bioloģisku objektu kopums. Kā daudzobjektu bioloģisku sistēmu piemērus var minēt mājputnus, cūku, govju, aitu ganāmpulkus u. c. Šo sistēmu uzraudzība var sniegt informāciju par minēto dzīvnieku uzvedību nobarošanas vai audzēšanas kompleksos, kur to kontrole ir īpaši svarīga. Pie daudzobjektu bioloģiskajām sistēmām pieskaitāma arī medus bišu saime un bites kā tās objekti.

Medus bites tiek uzskatītas par vienu no svarīgākajiem kukaiņiem, jo apmēram 85% no visiem ziediem apputeksnē tieši bites (Warnke, 2009). Arī Eiropas Komisijas tīmekļa lapā (“Honey bees,” 2016) tiek uzsvērts bišu, kā kukaiņu svarīgums gan videi, gan ekonomikai. Tie minēts, ka apputeksnētāji (medus bites, kamenes un savvaļas bites) katru gadu sekmē vismaz 22 miljardu EUR Eiropas lauksaimniecības industrijai. Bez labību un augu apputeksnēšanas, bites nodrošina medus un citus biškopības produktus, piemēram, putekšņi, bišu vasks, propoliss, ko izmanto pārtikas tehnoloģijās, medicīnā u. c. (“Honey bees,” 2016).

Medus bišu svarīgumu pastiprina fakts, ka tiek apdraudēta to eksistence – arvien vairāk parādās dažādi cēloņi, ka rezultātā bites iet bojā vai pēkšņi pazūd. Pēkšņās paušanas fenomens literatūrā tiek dēvēts par “kolonijas sabrukšanas traucējumu” (*Colony Collapse Disorder*). Šis fenomens izpaužas kā masveidīga darba bišu pēkšņa paušana, kad bišu stropā paliek vien bišu māte, dažas bites-kopējas (bišu saimē baro cirmeņus) un daudz barības. Pēc (“Colony Collapse Disorder,” 2013) datiem, šī fenomena fiksēto gadījumu skaits pēdējā laikā ir strauji samazinājies (no 60% 2008. gadā līdz 31% 2013. gadā), turklāt pēc (Milius, 2018), iemesli šīm fenomenam joprojām līdz galam nav noskaidroti. Taču eksistē vēl vairāki citi bišu dzīvību apdraudoši faktori, ko var iedalīt 4

grupās: parazīti un kaitēkļi, patogēni, nabadzīgs uzturs un letāla pakļaušana pesticīdiem (“ARS Honey Bee Health and Colony Collapse Disorder,” 2016). Iepriekš minētie faktori arī ir iemesls pēdējā laika satraukumam par bišu eksistenci.

Samērā nesen, 2012. gadā, tika definēta precīzās lauksaimniecības apakšnozare “Precīzā biškopība” (PB) (*Precision Beekeeping; Precision Apiculture*) (Zacepins et al., 2012). Precīzās biškopības pētāmais objekts ir bišu saime. PB tiek definēta kā bišu dravas stratēģija, kas vērsta uz individuālu bišu saimju uzraudzību ar mērķi samazināt resursu patēriņu un palielināt bišu produktivitāti (Zacepins et al., 2012).

No 2013. gada līdz 2016. gadam LLU Informācijas tehnoloģiju fakultātes vadībā risinājās 7. ietvarprogrammas ERA-Net ICT-AGRI starptautisks projekts “Informācijas tehnoloģiju pielietojums precīzajā biškopībā” (ITAPIC, Nr. Z/13/1128). Šajā projektā piedalījās arī darba autors. ITAPIC projektā (“Project information,” 2013) tika veikta precīzās lauksaimniecības tehnoloģiju un metožu ieviešana biškopībā. Tā galvenais mērķis bija pielietot precīzās lauksaimniecības principus biškopībā, izmantojot jaunākās informācijas un komunikācijas tehnoloģiju metodes, rezultātā automātiski identificējot bišu saimju dažādos stāvokļus un informējot biškopi par nepieciešamajām darbībām. Promocijas darba autora ieguldījums pētnieciskā projekta ietvaros saistīts ar uzraudzības sistēmām datu ieguvei un lēmumu atbalsta sistēmas realizāciju (likumu izstrāde, automātiska stāvokļu atpazīšana, LAS implementāciju tīmekļa vidē).

PB līdzīgi kā precīzajā lauksaimniecībā var realizēt 3 fāžu ciklu: datu savākšana, datu interpretēšana, analīze un pielietojums – darbību izpilde, balstoties uz pieņemtajiem lēmumiem. Precīzajā biškopībā datu vākšanas fāzes galvenais mērķis ir izstrādāt rīkus nepārtrauktai, reāllaika bišu saimju uzraudzībai (Zacepins et al., 2015). Kā norāda (McBratney et al., 2005) tad datu analīzes fāze ir precīzās lauksaimniecības “klupšanas akmens”. Biškopībā ir bijuši vairāki mēģinājumi pielietot datu analīzi pirmsspieta, bezperu stāvokļa, perošanas perioda sākuma identificēsanai (Zacepins et al., 2015).

Precīzajā biškopībā kā apakšsistēmu izdala lēmumu atbalsta sistēmu (Zacepins et al., 2015), kas paredzēta automātiskai mērījumu (gan individuālu saimju, gan dravas) analīzei un interpretēšanai. Kā apgalvo (“Welcome to colonymonitoring.com!,” n.d.), tad joprojām bišu saimju uzraudzībā iegūto datu analīzi veic pats biškopis, izmantojot izklājlapām līdzīgus rīkus (piemēram, *Microsoft® Excel, LibreOffice® Calc*) vai citas metodes. Kā minēts (Zacepins et al., 2015), tad eksistē dažādas ar biškopību saistītas lēmumu atbalsta un ekspertsistēmas, bet tās netiek attiecinātas uz individuālām bišu saimēm, uz ko akcents tiek likts šajā promocijas darbā, un ar ko saistīts autora jaunpienesums. Precīzajā biškopībā var izmantot dažādus algoritmus un likumus, kas raksturotu saimes stāvokļus, kur saimes stāvokļiem ir dažādas svarīguma pakāpes. Balstoties uz identificētā stāvokļa svarīgumu, lēmumu atbalsta sistēma var piedāvāt biškopim alternatīvas, kur alternatīvas izvēle ir atkarīga no biškopja.

Lēmumu atbalsta sistēma var apstrādāt un apvienot dažāda tipa informāciju (Zacepins et al., 2015): video, svaru izmaiņas, temperatūru, skaņu u. c.

Par to, ka bišu tematika joprojām ir aktuāla, liecina divi starptautiskie Apvārsnis 2020 (*Horizon 2020*) programmas apstiprinātie projekti, kuros pētnieka amatā darbojas arī promocijas darba autors. Viens no šiem projektiem – “Starptautiskā partnerība uz inovācijās bāzētiem pārvaldības pakalpojumiem viedajā biškopībā” (SAMS, Nr. 780755) – tika uzsākts 2018. gadā, savukārt projekta “Futūristiski bišu stropi viedajai metropolei” (HIVEOPOLIS, Nr. 824069) tika uzsākts 2019. gada aprīlī. SAMS projekta ietvaros promocijas darba autora pienākumos ietilpst uzraudzībā iegūto datu analīze, praktiskā LAS implementācija ar vairāku datu avotu apstrādi u. tml.

Projekts SAMS ir iepriekš minētā ITAPIC projekta turpinājums, kurā bez Eiropas Savienības (ES) valstu partneriem piedalās arī partneri no Etiopijas un Indonēzijas. Projekta galvenais mērķis ir stiprināt sadarbību informācijas tehnoloģiju jomā starp ES un jaunattīstības valstīm, nodrošinot precīzas biškopības ilgtspējību. Ar projekta mērķiem un aktivitātēm saistīta attālinātu uzraudzības tehnoloģiju izstrāde, iekļaujot interaktīvu lietotāju saskarni, lai atbalstītu biškopjus viņu saimju uzraudzībā un pārvaldībā Āfrikas un Āzijas kontinentu valstīs.

Projekts HIVEOPOLIS vērsts uz nākotnes bišu stropu izveidi un vadību, kas kalpotu kā atbalsts bišu labklājības veicināšanai skarbā, industriālā pilsētas vidē. Bez moderno stropu izveides, projekta uzdevumos ietilpst arī bišu saimēm apkārt esošās vides vērfības uzlabošana, kontrolējot ekosistēmas pakalpojumus, kas tiek koordinēti stropu ietvaros, pēc noteiktiem optimizācijas mērķiem – apputeksnēšanas serviss, optimāla barības sadale u.c.

Darba pētījuma rezultātā gūtās atziņas piemērojamas ne tikai biškopības nozarei, bet, piemēram, cūkkopībai. Kā piemērs minams starptautiskais ERA-Net SUSAN projekts “Cūkkopības sistēmu veiktspējas uzlabošana, pielietojot pilnīgas sistēmas pieeju” (PigSys, Nr. ES RTD/2017/22) (uzsākts 2017. g. septembrī), kurš vērsts uz cūkkopības un cūkgaļas ražošanas efektivitātes uzlabošanu. Promocijas darba autora darbs tiešā veidā saistīts ar datu apstrādi (datu noliktavas izveide), datu analīzi un lēmuma atbalsta sistēmas izstrādi.

Promocijas darbs ir turpinājums profesora Dr.sc.ing. Egila Stalidzāna un asociētā profesora Dr.sc.ing Alekseja Zacepina pētījumu virzienam. E. Stalidzāna darbs “Datorvadības algoritmi daudzobjektu bioloģiskām sistēmām” saistīts ar daudzobjektu bioloģiskas datorvadības problemātiku, veicot dažādu bioloģisku (t. sk., bišu skaita dinamikas modelis) un māksligu modeļu izstrādi. Viena darba daļa ir veltīta bišu kamolā notiekošo mikroklimata regulācijas algoritmu simulācijai. Darbā izstrādāti arī ieteikumi bišu saimju racionālai ziemināšanai, kā arī izstrādāta metodika vadības sistēmas izveidei daudzobjektu sistēmu mērķtiecīgai vadībai. E. Stalidzāna darbā nav izmantotas vai izstrādātas lēmumu atbalsta sistēmas. A. Zacepina darbs saistīts ar precīzas lauksaimniecības pieejas realizāciju biškopībā, rezultātā definējot precīzas biškopības virzenu. A. Zacepins padziļināti pētījis bišu saimju ziemināšanas procesu, izstrādājot bioloģisko objektu uzraudzības un vadības sistēmu.

Šis promocijas darbs ir minēto autoru pētījuma virziena turpinājums un veltīts lēmumu atbalsta sistēmas prototipa izveidei medus bišu (*Apis mellifera*) saimju stāvokļu identificēšanai, norādot uz tā starpdisciplinaritāti. Bišu saimju stāvokļu identificēšana sevī iekļauj datu ieguves sistēmas izveidi, datu izpēti un analīzi, algoritmu izstrādi automātiskas stāvokļu identificēšanas nodrošināšanai. Promocijas darba pētījuma rezultāti pieļetojami precīzās biškopības virziena attīstīšanai ne tikai Latvijā, bet arī globāli, par ko liecina jau esošā darbība starptautisku projektu realizācijā, ar partneriem no Eiropas, Āzijas un Āfrikas kontinentu valstīm.

## Promocijas darba mērķis un uzdevumi

Promocijas **darba mērķis** ir uzlabot daudzobjektu bioloģiskas sistēmas vadības procesu.

Mērķa sasniegšanai izvirzīti šādi **darba uzdevumi**:

- 1) veikt lēmumu atbalsta sistēmu analīzi un realizāciju iespējas bioloģiskas sistēmas vadībai;
- 2) izstrādāt automatizētu risinājumu bioloģiskas sistēmas uzraudzībai;
- 3) izstrādāt automatizētu lēmumu atbalsta sistēmas prototipu bioloģiskas sistēmas vadībai;
- 4) eksperimentāli novērtēt izstrādātā lēmumu atbalsta sistēmas prototipa darbību bišu saimes stāvokļu atpazīšanā.

## Pētījuma metodes

Zinātniskās literatūras un citu informācijas avotu analīze.

Novērojumi, salīdzināšana, indukcija, dedukcija, eksperimenti un secinājumi.

Dažādu tehnoloģisko moduļu salīdzināšanai pielietota lēmumu matricas metodika.

Izstrādāto sistēmu darbības pārbaude ar validācijas kopām.

Uzraudzībai pakļauto objektu parametru mērišanas datu ieguvei pieļietoti gan vienplates datori (*Raspberry Pi*, *Odroid-C0* ar *Linux* operētājsistēmu), gan autora izstrādāta elektroniskā plate. Datu savākšanas programmas veidotas *Python* un *C/C++* programmēšanas valodās.

Uzraudzības procesā iegūto datu attēlošanai izstrādāts darbvirsma (*C#* programmēšanas valodā) lietojums, un veikti papildinājumi jau esošai tīmekļa sistēmai ITAPIC projekta gaitā (*Java* prog. valoda, *Spring Boot* platforma, *AngularJS* tīmekļa lietotņu satvars).

Dažādu bišu saimes stāvokļu konstatēšanai pieļietota fazilogikas bibliotēka *jFuzzyLogic Java* programmēšanas valodai.

Spietošanas stāvokļa atpazīšanai izstrādāts algoritms (aktivitāšu diagramma) un neironu tīkls *C#* programmēšanas valodā. Neironu tīkla modelis spiedošanas atpazīšanai izstrādāts arī, pieļietojot *Tensorflow* satvaru *Python* programmēšanas valodā.

Izstrādāto metožu novērtēšanai pieļietota pārpratuma matricas metodika, kā arī statistikas metodes.

## **Zinātniskais jauninājums un praktiskā vērtība**

- Piedāvāta modifīcēta lēmuma procesa pieņemšanas koncepcija, kurā uzsvērta veiktā lēmuma ietekmes izvērtēšanas nozīmība.
- Veikta dažādu medus bišu saimju stāvokļu atpazīšana pēc temperatūras datiem, pielietojot mākslīgā intelekta metodes.
- Izstrādāts LAS prototips precīzās biškopības nozarei, automātiskai bišu saimes stāvokļu atpazīšanai.
- Izstrādāti modeļi lēmumu atbalsta sistēmas alternatīvu izvēles procesam.

Promocijas darba praktiskā vērtība saistīta ar veikto pētījumu un izstrādāto sistēmu prototipu ieviešanu starptautisko projektu ietvaros. Izstrādātais LAS prototips pielāgojams gan pētniecības projektos saistībā ar bišu saimju uzraudzību un vadību (projekts SAMS (promocijas darba autors uzsācis LAS implementācijas procesu), projekts HIVEOPOLIS, gan cūkkopībā (projekts PigSys).

Darbā izpētītās uzraudzības sistēmu arhitektūras un fazilōgikas slēdzienu sistēma pielāgojama plašam nozaru spektram, uz to bāzes realizējama, piemēram, biroja telpu vai auditoriju mikroklimata uzraudzība; citu bioloģisku objektu uzraudzība (vistas, aitas, govis u. tml.).

**Dalība ar promocijas darba tematiku saistītos starptautiskos projektos:** ITAPIC (7. ietvara programmas ERA-Net ICT AGRI projekts “Informācijas tehnoloģiju pielietojums precīzajā biškopībā”, Nr. Z/13/1128), SAMS (Apvārsnis 2020 projekts “Starptautiskā partnerība uz inovācijās bāzētiem pārvaldības pakalpojumiem viedajā biškopībā”, Nr. 780755), HIVEOPOLIS (Apvārsnis 2020 projekts “Futūristiski bišu stropi viedajai metropolei”, Nr. 824069), PigSys (ERA Net SUSAN projekts “Cūkkopības sistēmu veikspējas uzlabošana, pielietojot pilnīgas sistēmas pieeju”, Nr. ES RTD/2017/22).

## **Pētījuma tēzes**

- Lēmumu atbalsta sistēma un tās komponentes ir pielāgojamas bioloģisku daudzobjektu sistēmām.
- Vairākus biškopībā nozīmīgus bišu saimju stāvokļus ir iespējams izķirt un automātiski atpazīt, apskatot tikai temperatūras datus.
- Lēmumu atbalsta sistēmas pielietošana precīzajā biškopībā ir ekonomiski izdevīga.

## **Promocijas darba struktūra un apjoms**

Promocijas darbs ir sarakstīts latviešu valodā, satur anotāciju, ievadu, 5 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 5 pielikumus, 69 attēlus, 11 tabulas, kopā veidojot 144 lappuses. Darbā veiktas atsauces uz 235 literatūras avotiem.

## 1. SISTĒMAS UN TO DAUDZVEIDĪBA

Mūsdienās cilvēki ik dienu saskaras ar dažādām sistēmām vai ir šo sistēmu sastāvdaļa. Būtībā gandrīz katrā zinātniskā rakstā, grāmatā, kas apskata sistēmas, tiek sniegtā tās definīcija. Akadēmiskajā terminu datubāzē <http://termini.lza.lv/> atrodamas šādas sistēmas definīcijas:

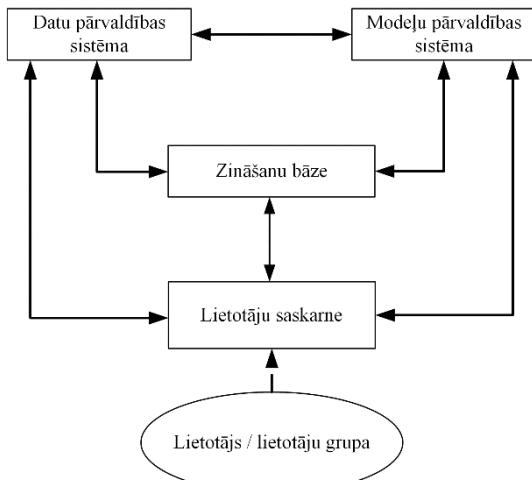
- “objektu, procedūru vai paņēmienu kopums un to savstarpējās attiecības, kas funkcionāli veido vienotu veselumu”;
- vienumu vai ierīču kopums, kas sadarbojas konkrēta uzdevuma izpildei.

Savukārt (Miller, 1978) piedāvā globālu skaņjumu, proti, visu eksistējošo lietu visums var tikt uzskatīts kā sistēmu visums (universs), kur sistēma ir definēta kā jebkurš saistīts un mijiedarbīgs elementu kopums. Minētās definīcijas norāda uz sistēmu lielo daudzveidību, būtībā var uzskatīt, ka jebkas, ar ko cilvēks katru dienu saskaras, ir sistēma vai kādas sistēmas sastāvdaļa, komponente, vai pat abi divi. Kopumā var izdalīt vairākas sistēmas: dabiskas, cilvēku veidotas, tiešsaistes, reāllaika, ekspertsistēmas, uz zināšanām bāzētas, lēmumu atbalsta sistēmas u.c.

Parastā nozīme frāzei “lēmumu atbalsta sistēma” iekļauj sevī jebkuru sistēmu, kas spēj palīdzēt ar jebkāda rakstura lēmumu pieņemšanu (Bruen, 2006). Savukārt lēmums ir izvēle no daudz iespējām, kur vienmēr jāņem vērā arī iespēja “neko nedarīt” (*do nothing*). Tā kā tipiska LAS nodrošina daudz funkciju, tad rezultātā tiek iegūtas vienkāršas, bet plaši aptverošas LAS definīcijas. Turklat (Marakas, 2003) uzsver, ka **LAS definīciju ir tik daudz, cik iespējams atrast rakstu un grāmatu par šo tēmu.**

Pēc (Yourdon, 2006) lēmumu atbalsta sistēmas pašas nepieņem lēmumus, bet palīdz organizāciju, uzņēmumu vadītājiem un cita veida profesionāliem pieņemt dažāda rakstura lēmumus. Kā galvenos lēmumu atbalsta sistēmas raksturojumus (Marakas, 2003; Power, Sharda, 2009) atzīmē šādus: tā ir domāta lēmumu veicēju atbalstam, bet ne aizvietošanai; tā atbalsta visas lēmumu pieņemšanas procesa fāzes; tā ir pakļauta LAS lietotājam; interaktīva un lietotājam “draudzīga” u. c.

LAS arhitektūru vispārīgi var klasificēt 5 komponentēs – datu pārvaldības sistēma, modeļu pārvaldības sistēma, zināšanu bāze, lietotāja saskarne, lietotājs vai lietotāji. Daži autori izdala trīs (Druzdzel, Flynn, 2002) un čeras (Aronson et al., 2005) galvenās komponentes, kur lietotājs un lietotāja saskarne netiek nodalīti. Minētās komponentes tad arī veido LAS arhitektūru (sk. 1.1. att.).



1.1. att. **LAS konceptuālā shēma**  
(Jaiswal, 2014)

Zinātniskās literatūras avotos bieži sastopama informācija par pētījumiem, kur LAS zināšanu bāzes modelī tiek pielietota faziloģika un tās bāzēta slēdzienu sistēma. Šāda sistēma sniedz daudz priekšrocību dažādu likumu formulējumos, kur likumi var tikt formulēti cilvēkam saprotamas valodas veidā, turklāt faziloģikas slēdzienu sistēma (FSS) piedāvā zināšanu aprakstošu likumu paplašināšanas un papildināšanas priekšrocības. Priekšrocības saistītas arī ar FSS pielietošanu gan līneārām, gan nelineārām problēmām (Baron et al., 2001).

Bez lēmuma atbalsta sistēmas arhitektūras izstrādes jāņem vērā arī pats process, kā konkrētie lēmumi tiek pieņemti. Svarīgi ir apzināt dažādās aktivitātēs, kas iesaistītas lēmumu pieņemšanā. Apkopojoši informāciju dažādos literatūras avotos (Felsberger, Oberegger, Reiner, 2016; Juneja, 2019; Shim et al., 2002; Zacepins, 2013), tika secināts, ka galvenie lēmuma pieņemšanas soļi ir problēmas identificēšana, problēmas definēšana, alternatīvu ģenerēšana, modeļu izstrāde alternatīvu analīzei, alternatīvu analīze, alternatīvu izvēle un alternatīvas īstenošana.

No izpētītajiem lēmumu pieņemšanas konceptiem promocijas darba autora izpratnē pārlieku maza uzmanība tiek pievērsta tieši pieņemtā lēmuma novērtēšanai, līdz ar to šī būtu jāņem vērā, kā papildus procesa fāze.

## 2. BIOLOGISKO DAUDZOBJEKTU UZRAUDZĪBA

Par bioloģisko sistēmu dēvē sarežģītu, bioloģiski nozīmīgu vienību tīklu (“Biological system,” n.d.). Tomēr bioloģiskas sistēmas nav racionāli aģenti, kas saņem ieejas datus, tos logiskā veidā apstrādā, radot izejas datus. Pēc (Brooks, 1991), bioloģiskas sistēmas ir daudzu mehānismu haoss, kas darbojas dažādos

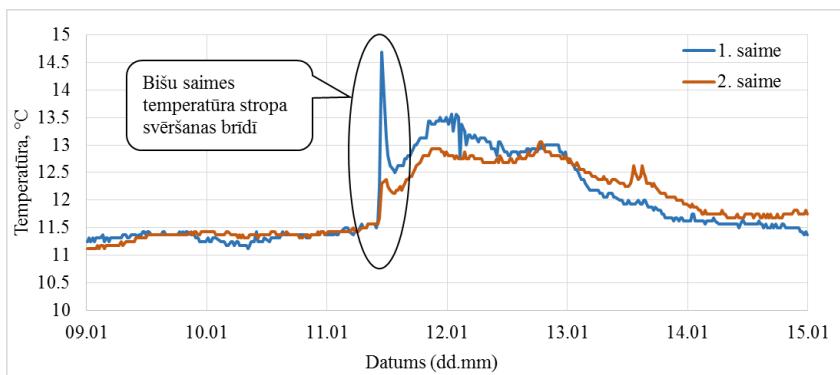
veidos, radot uzvedību, kuru var novērot un racionalizēt. Savukārt vārdu salikumu “bioloģiska daudzobjektu sistēma” promocijas darba kontekstā iespējams formulēt kā sistēmu, kuru veido vairāku bioloģisku objektu (vienas sugas pārstāvji) kopums.

Uzraudzības definīciju sniedz akadēmiskā terminu datubāze (<http://termini.lza.lv/>): ”manuāli vai automātiski veikta darbība, kuras uzdevums – novērot objekta faktisko stāvokli”. Tātad uzraudzīt iespējams gan dzīvus (cilvēki, dzīvnieki), gan nedzīvus (sistēmas, programmas) objektus.

Arī bišu saime tiek uzskatīta kā vienota kopa, organisms (Šteiselis, 2009) jeb kā promocijas darbā definēts – bioloģiska daudzobjektu sistēma. Kā minēts (Zacepins et al., 2015), tad par vienu no precīzās biškopības apakšsistēmām var uzskatīt lēmumu atbalsta sistēmu, kas spēj nodrošināt automātisku datu analīzes un interpretēšanas funkcionalitāti.

Pētot zinātniskos literatūras avotus, netika atrasta informācija par gatavām LAS, kas tiktu koncentrētas un pielietotas tiešā mērā bišu saimju vadībai, piemēram, identificēt saimju stāvokli, informēt lietotāju par bišu uzvedību. Taču eksistē vairāki pētījumi šajā kontekstā (“BuzzBox,” n.d.; Edwards-Murphy, Magno, Whelan, O’Halloran, Popovici, 2016; Douglas S Kridi, de Carvalho, Gomes, 2016; Douglas Santiago Kridi, Carvalho, Gomes, 2014; Mahaman et al., 2002; Markovic, Pešović, Djurasevic, Sinisa, 2016; Vlad, Ion, Cojocaru, Ion, Lorent, 2012).

Viens no galvenajiem bišu saimju uzraudzības sistēmas pozitīvajiem aspektiem ir tāds, ka tā ļauj attālināti novērtēt konkrēto saimju stāvokli, nepieejot pie stropa un neradot lieku saimes traucēšanu, nodrošinot iespēju laicīgi konstatēt izmaiņas bišu saimju uzvedībā (Zacepins et al., 2016). Kā iepriekš novērots, tad saimes apskate uz vietas vai citas aktivitātes, piemēram, stropa manuāla svēršana, izraisa bišu saimes satraukuma stāvokli, kas skaidri novērojams temperatūras datos (sk. 2.1. att.).



2.1. att. **Bišu saimes satraukums manuālas stropa svēršanas laikā**

Uzraudzības procesā iespējams uzraudzīt dažādus parametrus (temperatūra, mitrums, svars, vibrācija u. c.), kur to kombinēšana, apvienošana padara LAS daudzveidīgāku, paplašinot iespējas vairāku stāvokļu identificēšanai. Promocijas darba ietvaros akcents tika likts uz pēc iespējas ekonomiski izdevīgāka mērāmā lieluma uzraudzību, šajā gadījumā, temperatūra. Līdz ar to tika analizēti bišu saimes stāvokļi, kurus ir iespējams identificēt pēc temperatūras datiem. Dažādu stāvokļu iespējamo atpazīšanu, nemot vērā tikai temperatūras datus, norāda arī (Zacepins, 2012). Avots reizē min kalendārā laika ietekmi uz mērījumiem, kur vienāda tipa dati dažādos gadalaikos interpretējami atšķirīgi.

Biēm var izdalīt vairākus stāvokļus, kuru identificēšana ir ļoti būtiska, tie ir: jauno bišu audzēšana (perošana), bišu saimes bojāeja, dažādu slimību esamība, saimes spiedošana.

### **3. BIŠU SAIMJU UZRAUDZĪBAS SISTĒMU ARHITEKTŪRAS**

Dažāda veida uzraudzības sistēmu arhitektūras var tikt pielietotas atšķirīgu parametru mērīšanai bišu stropos. Šo arhitektūru atšķirības nosaka dažādi faktori: sensoru nolases ierīce, datu glabāšana, sensoru datu pārraides veids (vadu vai bezvadu sistēma) u. tml.

**Klāties uzraudzības** sistēmas arhitektūra balstās uz datu apskati “uz vietas” (Romanov, n.d.), tas būtu, dati netiek nekur pārsūtīti un glabāti. Dažādu parametru mērīšanas sensoriem (piemēram, temperatūras) tiek pievienots ekrāns, kurš novietots bišu stropa ārpusei. Tādējādi biškopim šo parametru vērtību reģistrācija būtu jāveic manuāli (piezīmju grāmatā vai datorā), pierakstot, piemēram, stropa iekšienē konstatēto temperatūru un laiku. (Kviesis, Zacepins, 2015)

Arhitektūrā, kur tiek izmantots **dravas dators kā sensoru datu nolasītājs**, sensoru dati tiek glabāti datora cietajā diskā, kurš atrodas tuvumā bišu dravai (Meitalovs et al., 2009; Vornicu, Olah, 2004; Zacepins et al., 2011). Datu apskatei var izmantot speciāli izstrādātu darbvirsmas programmu vai tīmekļa risinājumu, kurā iespējams iestrādāt datu analīzi un lēmumu atbalsta sistēmu. Šāda sistēma sniegtu informāciju par bišu saimju stāvokļiem un uzvedību, kā arī nosūtītu paziņojumus e-pasta vai īstiņu veidā. (Kviesis, Zacepins, 2015)

Attālinātai datu piekļuvei iespējams izmantot kādu no pieejamiem attālināto pieslēgumu rīkiem (*TeamViewer*, *RAdmin* u. c.), vai jāizstrādā specifiska lietotne (jau minētā darbvirsmas programma). Attālinātai datu apskatei uz dravas datora var uzstādīt tīmekļa serveri (Kviesis, Zacepins, 2015).

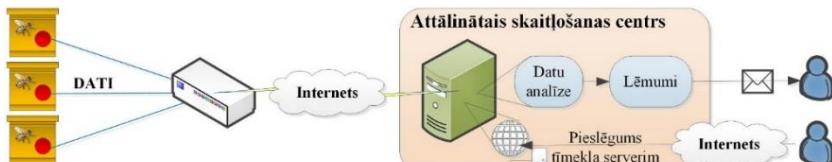
**Uzraudzība ar dravas datoru un attālinātu skaitļošanas centru.** Arī šajā sistēmas arhitektūras paveidā dati no bišu stropos ievietotajiem sensoriem tiek iegūti ar dravas datora palīdzību, kur tālāk tie tiek pārsūtīti attālinātam skaitļošanas centram. Šādā sistēmā dators tiek izmantots kā datu pārraides ierīce.

Datu pārsūtīšanai var eksistēt dažādi scenāriji – *MS Access* datubāzes pārsūtīšana attālinātam serverim (Zacepins, Meitalovs, 2014); tieša datu pārsūtīšana, izmantojot SQL vaicājumus vai veicot hiperteksta pārsūtīšanas protokola (HTTP) POST metodes pieprasījumus tīmekļa serverim.

Publiskai datu apskatei, attālinātā skaitlošanas centrā iespējams izveidot tīmekļa serveri. Arī šo sistēmu var papildināt ar datu apstrādes mehānismiem, kas ziņotu biškopim par konstatēto saimju uzvedību (Kviesis, Zacepins, 2015).

**Saimju uzraudzība ar starpniekierīci** ir iepriekš aprakstītās arhitektūras paveids, kur dravā esošais personālais vai portatīvais dators var tikt aizstāts ar specifiskām starpniekierīcēm. Piedāvātā sistēmas arhitektūra (sk. 3.1. att.) sastāv no 2 pamatblokiem: starpniekierīces datu iegūšanai no sensoriem (kas nodrošinātu datu pārraidi tīklā, piemēram, internetā) un attālināta skaitlošanas centra datu glabāšanai un aprēķinu veikšanai. Par starpniekierīci šajā kontekstā netiek uztverts maršrutētājs. Minētā starpniekierīce veic datu nolasīšanu/saņemšanu un pārsūtīšanu attālinātam skaitlošanas centram.

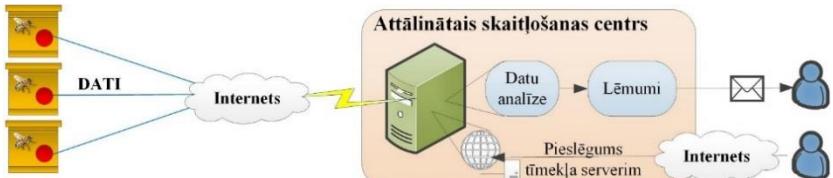
Attālinātā skaitlošanas centrā iespējams uzstādīt tīmekļa serveri publiskai datu apskatei. Skaitlošanas centru iespējams papildināt ar funkcionalitāti, kas nodrošina automātisku datu analīzi un lēmumu/slēdzienu veikšanu.



3.1. att. Sistēmas arhitektūra ar starpniekierīces izmantošanu  
(Kviesis, Zacepins, 2015)

Šīs pašas arhitektūras ietvaros var izmantot arī bezvadu sensoru tīklus (BST), kur starpniekierīces funkciju pilda uz mikrokontrollera bāzēta platforma. Sensoru datu nolasīšanai tiek izmantoti sensoru mezgli (viens mezglis uz vienu bišu saimi). BST realizācijai var izmantot sensoru mezglus kopā ar galveno mezglu.

**Lietu interneta pielietojums bišu stropu uzraudzībā.** Arhitektūras pamatā ir datu sūtīšana, izmantojot bezvadu saziņu ar attālināto skaitlošanas centru (attālināts serveris, mākoņpakaļpojums) (sk. 3.2. att.) Arī šīs sistēmas veida realizācijai izmanto sensoru mērījumu mezglus (viens mezglis vienai saimei), kuriem pievienoti WiFi bezvadu sakaru moduļi (piemēram, *ESP8266*). Dravā vai tās tuvumā nepieciešams izvietot bezvadu maršrutētāju, kas katram mērījumu mezglam piešķir savu interneta protokola (IP) adresi, kā rezultātā katrs mezglis individuāli var nosūtīt temperatūras datus attālinātam skaitlošanas centram. Apstrādes iespējas skaitlošanas centrā saglabājas, kā aprakstīts iepriekš.



3.2. att. Sistēmas arhitektūra pēc lietu interneta principa  
(Kviesis, Zacepins, 2015)

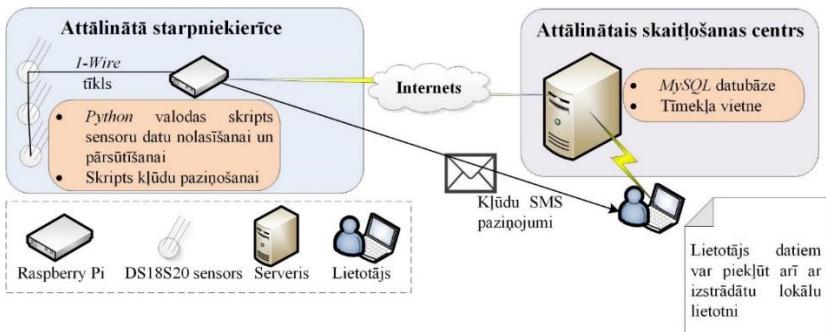
**Uzraudzībā ar neatkarīgiem sensoru mezgliem** nolasīto sensoru datu netiek nekur sūtīti, bet analizēti uz konkrētā sensora mezgla, un tikai lēmumi tiek nosūtīti biškopim. Atšķirībā no iepriekš aprakstītās arhitektūras – mērījumu mezgli nav atkarīgi no viena vienojoša elementa (maršrutētāja vai starpniekierīces), kura darbības traucējumi aptur visu tam pieslēgto mērījumu mezglu datu glabāšanu.

#### 4. UZRAUDZĪBAS SISTĒMU PRAKTISKĀ REALIZĀCIJA

Promocijas darbā noteikta viena no galvenajām uzraudzības sistēmas funkcijām – temperatūras datu iegūšana. Temperatūra izvēlēta, jo bišu saime stropā veic termoregulācijas funkcijas (sildīšana, vēdināšana). Līdz ar to bišu stropā notiekošo dzīvi iespējams atainot ar temperatūras dinamiku. Promocijas darba autors praktiski izstrādāja divas uzraudzības sistēmas, kuras aprakstītas šīs nodalas ietvaros.

##### Vadu sistēmas pielietošana

Par vadu sistēmu šajā kontekstā uzskatāma sistēma, kas datus no bišu stropiem nepārsūta ar bezvadu tehnoloģiju palīdzību, bet sensori vai sensoru mezgli ar datu pārraides ierīci ir savienoti ar vadiem. Promocijas darba autora izstrādātā vadu sistēma shematišķi attēlota 4.1. att.



4.1. att. Uzraudzības sistēma ar *Raspberry Pi* kā starpniekierīci  
(Kviesis, Zacepins, 2015)

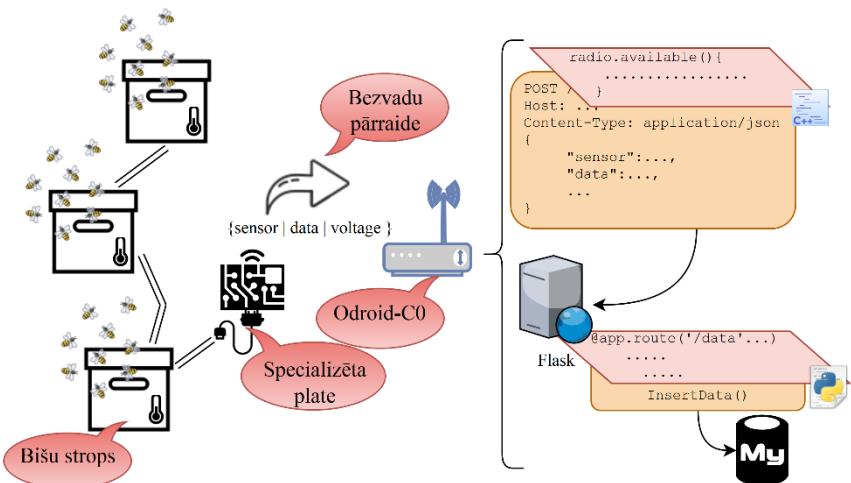
Datu ieguvei tika izmantots *1-Wire®* tehnoloģijas tīkls ar temperatūras sensoriem (*DS18S20*), kas pieslēgts *Raspberry Pi* ierīcei, lai veiktu nepieciešamās funkcijas – regulāru temperatūras datu nolasīšanu un glabāšanu datubāzē. Šīs arhitektūras realizācijas gadījumā temperatūras datu nolasīšanai un glabāšanai tika izveidots skripts *Python* programmēšanas valodā. Datu tika glabāti *MySQL* datubāzē, kas uzstādīta uz *Ubuntu 12.04 LTS* operētājsistēmas. Datu pārsūtīšanai izstrādātais skripts veica POST pieprasījumu attālinātam serverim.

### Hibrīdsistēma – vadu un bezvadu tehnoloģiju apvienojums

Promocijas darba autora otrā izstrādātā sistēma. Šī sistēma dēvēta par hibrīdsistēmu, jo tā daļēji apvieno vadu un bezvadu sistēmu koncepcijas. Sistēmas izveides motivācija skaidrojama ar konkrētas situācijas izpēti: veikt bišu saimju uzraudzību ar iespēju datus apskatīt attālināti, lai gan dravā internets pieejams ierobežotā attālumā un neregulāri; izmantot esošo interneta pieslēgumu datu apskatei un brīdinājumu saņemšanai, neveicot papildu datu plānu abonēšanu; veikt uzraudzību pēc iespējas energoefektīvāk; nosūtīt paziņojumus un brīdinājumus par bišu saimju aktivitāti.

Hibrīdsistēma balstīta uz sistēmas arhitektūru, kas izmanto starpniekierīci, un datu savākšana balstīta uz bezvadu sensoru tīkla principu, formējot zvaigznes topoloģijas tīklu. Sistēma balstīta uz promocijas darba izstrādes gaitā izveidotām prototipa ierīcēm sensoru datu nolasīšanai, kas ļauj pieslēgt vairākus sensorus ar jau minētās *1-Wire* tehnoloģijas palīdzību (*DS18S20* sensori). Datu nosūtīšanai galvenajam mezglam tiek pielietotas bezvadu tehnoloģijas. Galvenā mezgla izveide balstīta uz *Odroid-C0* vienplates datora, kas apstrādā ieejas datus un saglabā tos datubāzē. Turklāt *Odroid-C0* ir pietiekoši jaudīgs, lai spētu veikt nepieciešamo datu analīzi, iekļaujot LAS. Kā papildfunkciju galvenajam mezglam var minēt paziņojumu, brīdinājumu izsūtīšanu, tīklīdz pieejama pieslēgšanās interneta tīklam, kā arī iespējamība lokālo datu pārsūtīšanai uz kādu attālinātu skaitļošanas centru.

Konkrētā hibrīdsistēma ir ekonomiski izdevīga gadījumos, ja vairāki stropi atrodas tuvu viens otram, jo stropos esošos sensorus var pieslēgt vienai datu nolases ierīcei un nolasīt vairāku stropu mērījumu datus. Konkrētā sistēma īpaši akcentē gadījumu, kad ieinteresētajā teritorijā nav pastāvīga piekļuve internetam, kā rezultātā, dati tiek glabāti uz vietas, bet pieejami lokāla tīkla (LAN) ietvaros, jo galvenais mezgls ir pietiekoši jaudīgs tīmekļa servera darbināšanai. Līdz ar to hibrīdsistēma demonstrē, cik plašas variācijas iespējamas uzraudzības sistēmu izveidē. Hibrīdsistēmas koncepts attēlots 4.2. att.



4.2. att. Realizētās hibrīdsistēmas koncepcija

Bišu saimju temperatūras tendenču atspoguļošanai tika izstrādāta darbvirsmas programma, izmantojot programmēšanas valodu C#. Izstrādātais lietojums nodrošina attālinātās datubāzes pierakstīšanās informācijas ievadīšanu/labosanu; datu atlasi pēc laika perioda; datu attēlošanu grafiskā veidā, ar reģionu palielināšanas iespēju; temperatūras datu maksimālās, minimālās, vidējās un mediānas vērtību attēlošanu izvēlētajā laika posmā; izvēlēto datu eksportēšanu u. c. funkcionalitātes.

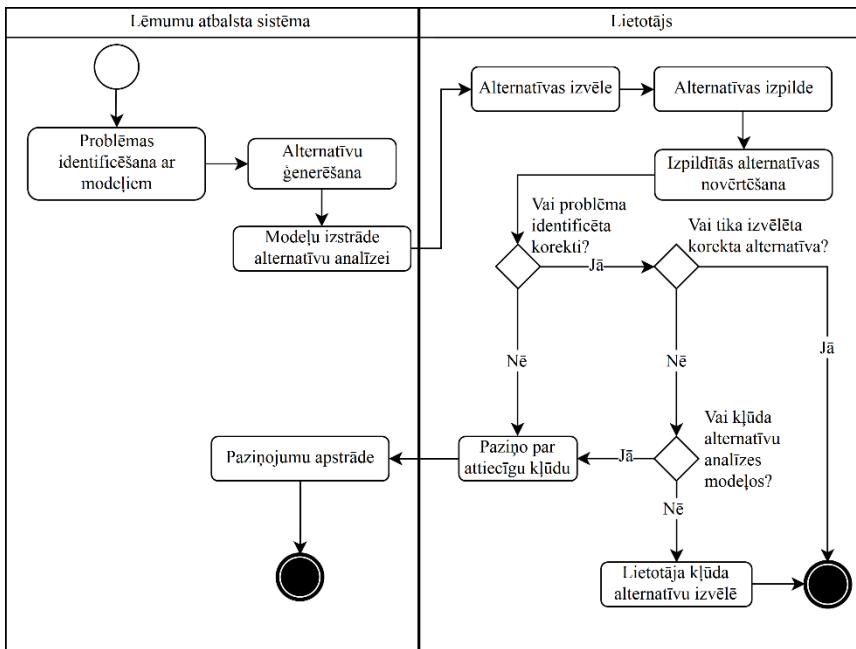
## 5. LAS PROTOTIPA IZVEIDE BIŠU SAIMJU VADĪBAI

Pielietotā lēmumu atbalsta sistēma ir datu, modeļu un zināšanu vadīta. Nodaļas turpinājumā aprakstīti likumi, kas norāda gan uz nepieciešamību analizēt “aktīvos” datu punktus, pielietojot dažādus matemātiskos modeļus, gan pielietot “zināšanas” un apmācītus modeļus dažādu stāvokļu atpazīšanai.

### Piedāvātā LAS lēmumu pieņemšanas koncepcija

Pēc teorētiskajā daļā apskatītās informācijas LAS koncepcija tika balstīta uz populārāko un praksē vairāk lietoto lēmumu pieņemšanas procesa koncepciju un pēc (Zacepins, 2013) veiktā pētījuma atziņām. Informācijas izpētes laikā tika konstatēts, ka maz akcenta tiek likts procesam, kas seko pēc izvēlētās alternatīvās ieviešanas, proti, novērtēšanas fāze. Ir resursi (“7 Steps of the Decision-Making Process,” 2017; Elmansi, 2015; Kabaivanov, Markovska, Milev, 2013), kas norāda uz šādas fāzes esamību, taču tas, subjektīvi vērtējot, netiek pienācīgi izcelts. Līdz ar to promocijas darba autors piedāvā papildināt lēmuma procesa pieņemšanas konceptu ar papildus novērtēšanas fāzi. Novērtēšanas solī lēmuma

pieņemējam un īstenotājam (attiecīgās darbības veicējam) jāspēj novērtēt veiktā izvēle un jāidentificē iespējamās problēmas – vai lēmums bija korekts, vai nepieciešami uzlabojumi problēmas identificēšanas modeļos, kā arī, vai lietotājs korekti veicis izvēli, vai kļūda meklējama analīzes modeļos. Līdz ar to pēc novērtējuma lietotājam jāsniedz atsauksme, paziņojot atbildīgās sistēmas izstrādātājam par konstatētajām kļūdām vai apsverot savu kļūdu lēmuma pieņemšanā. Rezultātā kopējo LAS lēmuma pieņemšanas konceptu var iedalīt sistēmas un lietotāja daļā, kur 5.1. att. demonstrēta lēmuma pieņemšanas procesa viena iterācija.



5.1. att. Piedāvātais LAS lēmuma pieņemšanas koncepts

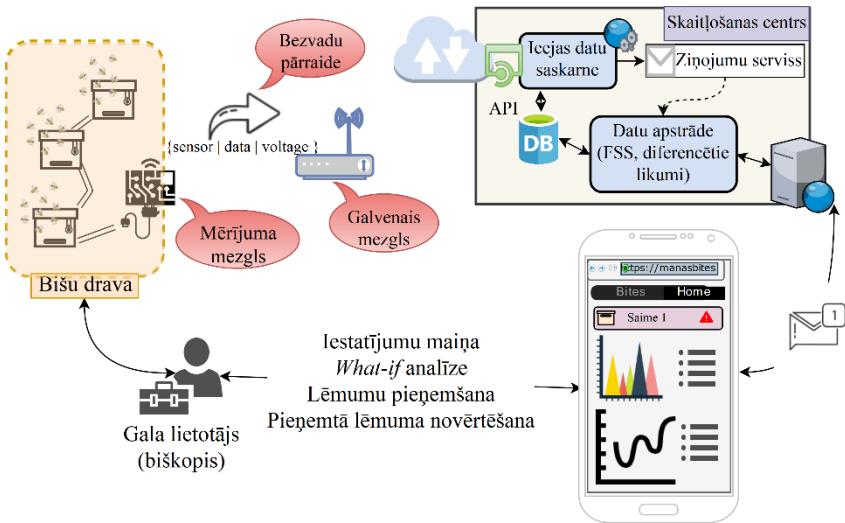
Zemāk dota katra lēmumu pieņemšanas procesa elementa analīze bišu stāvokļu atpazīšanai un saimju vadībai:

- 1) problēmas identificēšana – šajā fāzē būtu jāsāk ar atbildi uz jautājumu “kas būs lēmumu pieņemēji vai ieinteresētās personas?”. Konkrētajā gadījumā tie ir biškopji, kur jāņem vērā, ka ne visi ir speciālisti IT jomā. Līdz ar to problēma skatāma no biškopju pusēs, proti, biškopim ir svarīgi: saglabāt saimes; iegūt maksimāli daudz produkcijas (perošanas laicīga konstatēšana, spiedošanas konstatēšana u. c.). Tā kā iespējami dažādi bišu stāvokļi, kuru laikā bišu uzvedība un darbības atstāj ietekmi uz biškopja finansiālo stāvokli un saražoto produkciiju,

- tad jāizstrādā dažādi modeļi atšķirīgu bišu saimju stāvokļu atpazišanai, kas nēm vērā definētus likumus (balstoties uz zināšanu bāzi);
- 2) alternatīvu ģenerēšana – tiek analizēts katrs stāvoklis un noteikta veicamās darbības: kad doties uz dravu, kad izvēlēties neko nedarīt, kas būtībā ir vienīgās alternatīvas biškopības gadījumā. Tātad apkopojot iespējamos atpazīstamos stāvokļus, var izšķirt šādas alternatīvas:
- bojāejas stāvoklis – doties pie stropa (balstoties uz izmaksām, biškopis nolej vai to darīt nekavējoties vai atlīkt uz vēlāku laiku), rēķināties ar jaunas saimes nepieciešamību un radītajiem zaudējumiem;
  - normāls stāvoklis – nedarīt neko;
  - spiegošana – doties uz dravu meklēt/sanemt spietu, ja izmaksas to atļauj darīt (attālums, patēriņtais laiks);
  - nezināms stāvoklis – doties pie stropa (izvērtējot vai to darīt nekavējoties vai atlīkt uz vēlāku laiku);
- 3) dažādu modeļu lietošana – ar dažādu metožu palīdzību, tiek izstrādāti modeļi alternatīvu analīzei, rezultātā tiek iegūts pamats alternatīvu izvēlei;
- 4) izvēle – tiek pieņemts korektais, attiecīgai situācijai paredzamais lēmums;
- 5) **izpildītās alternatīvas novērtēšana** – solis, kas ietver pieņemtā gala lēmuma izvērtēšanu, proti, vai problēma tika attiecīgi identificēta un vai alternatīvu analīzes modeļi atainoja korektus rezultātus. Kā arī pašam biškopim šajā fāzē jāspēj izvērtēt sava izdarītā alternatīvu izvēle (pieņemtais lēmums).

### Izstrādātās bišu saimju vadības sistēmas arhitektūra

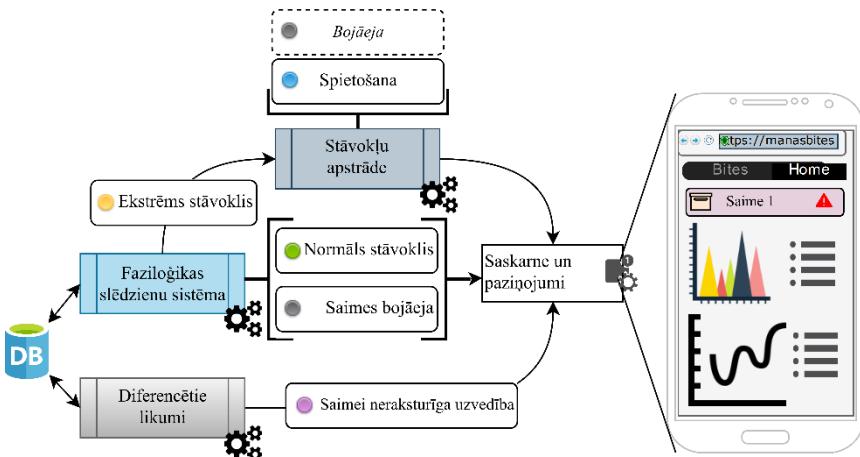
Kopējā sistēmas arhitektūrā var izdalīt 4 galvenos blokus (sk. 5.2. att.), proti: ierīce vai ierīces datu savākšanai; datubāze; lēmumu atbalsta sistēma; lietotājs.



5.2. att. Bišu saimju vadības sistēmas arhitektūra

Mērījumu mezgli kopējā sistēmā kalpo kā datu savācēji, kur galvenais mezglis datus nogādā skaitļošanas centram, izmantojot attiecīgo skaitļošanas centra datu saskarni. Tas savukārt ievieto datus datubāzē un caur zīojumu servisu paziņo datu apstrādes blokam, kur dati tālāk tiek izmantoti LAS vadības blokos. Datu ieguves un datu apstrādes bloki ir viens no otra nodalāmi moduli.

Bišu saimju stāvokļu identificēšanu nodrošina FSS ar attiecīgo stāvokļu apstrādes bloku (precīzāku stāvokļu identificēšanai) (sk. 5.3. att.).



5.3. att. Bišu saimju stāvokļu identificēšanas shematisks attēlojums

## **LAS zināšanu bāze un tās likumu definējumi**

Promocijas darbā tiek piedāvāts definēt un ieviest uz faziloģikas likumiem bāzētu apakšsistēmu. Rezultātā tika definētas 2 likumu grupas, kur individuālos likumus kontrolē faziloģikas sistēma. Tā kā bišu saimes uzvedībai piemīt nelineārs raksturs, tad saimju stāvokļu identificēšanai tika izvēlēts pielietot FSS. Kā norāda (Sabri et al., 2013), tad faziloģikas modelēšana sniedz priekšrocības, salīdzinot ar tradicionālajām matemātiskajām modelešanas metodēm, piemēram, spēja apvienot cilvēku ekspertu informāciju ar skaitiskiem datiem un spēju veikt sarežģītu nelineāru funkciju tuvināšanu ar vienkāršiem modeļiem.

Likumu iedalījums:

- 1) diferencētie – salīdzina konkrētas saimes temperatūru ar vidējo temperatūru bišu dravā;
- 2) individuālie (faziloģikas kontrole):
  - o bojāja;
  - o normāls;
  - o ekstrēms {spiedošana; bojāja; nezināms (slimība, *CCD u.c.*)}.

Jāņem vērā, ka pēc LAS sniegtās informācijas pēc iepriekš uzskaitītajiem likumiem, biškopis joprojām paliek galvenais lēmumu pieņēmējs.

### **FSS bišu saimju stāvokļu noteikšanai**

Promocijas darba izstrādes laikā tika izstrādāta uz Mamdani tipa balstīta FSS kā apakšsistēma LAS bišu stāvokļu atpazīšanai. Praktiskai realizācijai tika izvēlēta *Java* programmēšanas valoda un tajā pielietojamā bibliotēka *jFuzzyLogic*.

FSS izstrādes sākuma stadijā tika definēti četri ieejas parametri: temperatūra bišu stropā, apkārtējās vides temperatūra, bišu stropa un apkārtējās vides temperatūru starpība, gada mēnesis. Darba izstrādes laikā FSS modelis tika papildināts ar vēl vienu ieejas parametru – temperatūras starpību viena stropa ietvaros, kas aprēķina starpību starp pašreizējās temperatūras vērtību un vidējo temperatūras vērtību pirms vienas stundas. FSS ieejas datus veido bišu saimes stāvoklis, kam definētas 3 piederības funkcijas (stāvokļi). Ieejas un izejas parametri tika fazizēti ar atbilstošām piederības funkcijām.

Ieejas parametrs, kurā izdalītas trīs piederības funkcijas, raksturo trīs stāvokļus – saimes bojāja, normāls un ekstrēms. Tā kā slēdzienu sistēmas izejas parametrs (pēc defazizēšanas) satur konkrētu vērtību, tad iegūtais rezultāts tiek interpretēts kā “pārliecība par saimes veselīgumu”, jo šajā gadījumā netiek veikta nekādu bišu saimju parametru ietekmes kontrole, bet konstatēts tās stāvoklis.

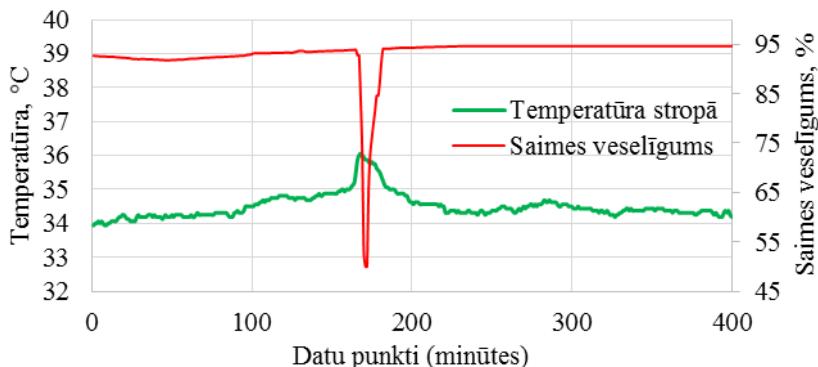
Var apgalvot, ka stāvoklis “bojāja” pieskaitāms stāvoklim “ekstrēms”, taču ir pazīmes, pēc kurām var nodefinēt likumus bišu saimes bojāejas konstatēšanai. Savukārt stāvoklis “ekstrēms” norāda arī uz spiedošanas stāvokli un paaugstinātām temperatūrām ziemas periodā, kas var norādīt uz saimes saslimšanas gadījumu vai pāragru perošanu.

Ņemot par pamatu sagatavotu datu kopu, izveidota fazilogikas slēdzienu sistēmas likumu kopa. Kopas izveide balstīta uz ID3 (*Iterative Dichotomiser 3*) algoritmu. Šādas metodes pielietošana ļauj noskaidrot saknes (*root*) mezglu jeb to ieejas parametru, kuram ir vislielākā informācijas kapacitāte.

### Realizētās FSS validācija un novērtējums

Izstrādātā FSS tika validēta ar iepriekš bišu saimju uzraudzībā iegūtiem vēsturiskiem datiem. Balstoties uz vēsturisko datu novērojumiem un izpēti, tika atlasītas 90 datu kopas (kopumā veidojot aptuveni 185000 individuālus datu punktus – sensoru mērījumus), kas tālāk padotas FSS, formējot ieejas parametrus. Datu kopas saturēja temperatūru datus, kur bišu saimēm ir konstatēts normāls stāvoklis, spiedošana, konstatēta to bojāeja vai neraksturīgi paaugstināta temperatūra konkrētā gadalaikā (iespējama saimes saslimšana vai citi stresu izraisoši faktori). Tā kā pastāv iespējamība, ka konkrēts temperatūras sensora datu punkts var būt kļūdains (bites var uzsildīt sensoru, vai tehniski iemesli kļūdainam mērījumam), tad temperatūras ieejas datu vērtībām tika veikta vidējā aritmētiskā aprēķināšana pēdējiem pieciem mērījumiem.

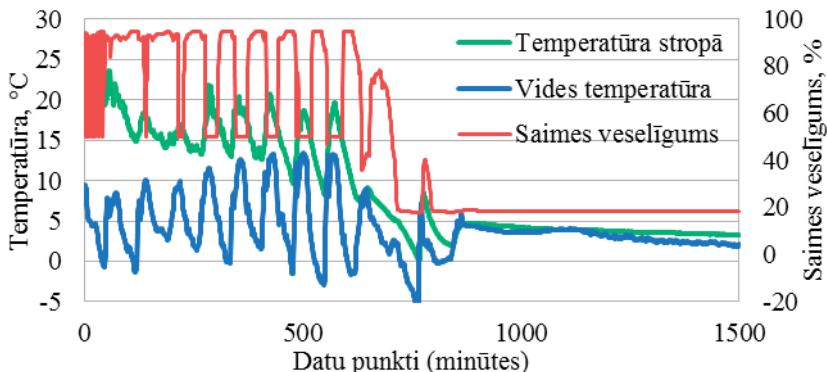
Pēc FSS izstrādes un noskaņošanas, tika secināts, ka tā spēj konstatēt visus 20 spiedošanas gadījumus. Šāda gadījuma piemērs attēlots 5.4. att.



5.4. att. Sekmīga spiedošanas stāvokļa konstatēšana pie zemas maksimālās temperatūras

Validācijas datu kopa saturēja temperatūras datus par bišu saimes atrašanos normālā stāvoklī ziemas periodā, bet ar temperatūras paaugstināšanās periodiem, kas sasniedz pat vairāk nekā 25°C. Visi šie temperatūras paaugstināšanās gadījumi tika konstatēti ar FSS, norādot uz ekstrēmu stāvokli. Šie temperatūras “lēcieni” norāda uz kādu stresa izraisošu faktoru, jo temperatūra “norimst”, stabilizējas iepriekšējā līmenī vienas dienas laikā.

Bišu saimes bojāejas gadījumā sistēma spēja norādīt uz novirzēm no normālā stāvokļa (sk. 5.5. att.). Kā redzams attēlā, tad stropā esošai temperatūrai bija tendence uz samazināšanos, līdz tās raksturlīkne sāka līdzināties āra temperatūras raksturlīknei. Kā redzams, tad pie izteiktiem temperatūras kāpumiem, tiek signalizēts par ekstrēmu stāvokli, savukārt brīdī, kad temperatūras vērtība ir ļoti zema (sakrīt ar āra temperatūru), tiek signalizēts par bojāejas iestāšanos (pēc FSS, veselīgums zem 40%).



5.5. att. Bišu saimes iespējamā bojāejas stāvokļa konstatēšana

Sagatavotās datu kopas iekļāva ekstrēmus gadījumus, kad, piemēram, ziemas periodā bišu stropos tiek fiksēta paaugstināta temperatūra (apmēram 32°C), kas norāda uz pāragru Peru audzēšanu un pastāv risks, ka saimei, sagaidot pavasari, var iestāties badius, barības resursu trūkumu dēļ. FSS spēja šos gadījumus identificēt korekti.

Validācijas laikā bija novērojami gadījumi, kad FSS norādīja uz saimes stāvokli, kur mijās bojāejas ar ekstrēmu, kas ir pieņemami, jo abi stāvokļi norāda uz nepieciešamību pēc saimes apskates.

### FSS novērtējums ar pārpratumu matricu

Pēc fazilogikas slēdzienu sistēmas validēšanas, tika novērtēta sistēmas veiktspēja. FSS skaitliskai novērtēšanai tika pielietota pārpratumu matrica (*confusion matrix*). Pārpratumu matricu veido 4 dažādas paredzēto un reālo vērtību kombinācijas (Joshi, 2016; Narkhede, 2018): pareiza atbilsme (*true positive*); pareiza neatbilsme (*true negative*); viltus pozitīvs (*false positive*); viltus negatīvs (*false negative*, *FN*). Savukārt modeļu veiktspējas (Joshi, 2016; Powers, 2011; Saxena, 2018) noteikšanai tika aprēķināta: pareizība (*accuracy*); atdevē (*sensitivity*, *recall*); precizitāte (*precision*); specifiskums (*specificity*) un *F1* vērtējums (*F1 score*);

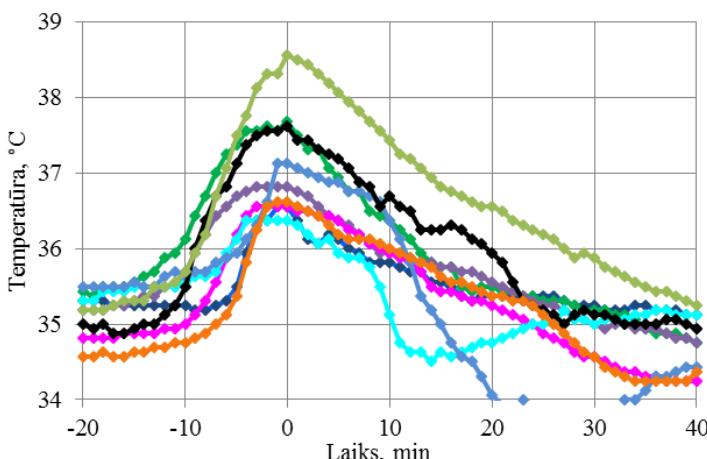
Rezultātā sistēma darbojās ar aptuveni **98%** lielu **pareizību**, **100% precizitāti un specifiskuma rādītāju**, **~97%** lielu **atdevi** (*recall*), kopā veidojot F1 vērtējumu: **~98%**, kas norāda, ka sistēma uzrāda korektu un caurmērā stabili darbību, konstatējot dažādas bišu saimju stāvokļu izmaiņas, kuras tiešā veidā atspoguļojas stropu temperatūru datos. Gadījumos, kad validāciju klase ir nevienslīdzīgi sadalīta (kā tas ir arī konkrētajā gadījumā), F1 vērtējums tiek uzskatīts par lietderīgāku, jo tas nēm vērā gan atdevi, gan precizitāti (Joshi, 2016; Shung, 2018).

### **Spietošanas stāvokļa automatizēta atpazišana**

2015. gada vasaras periodā (no 1. maija līdz 31. augustam) tika uzraudzītas 10 bišu saimes, kuru temperatūras dati tika glabāti attālinātā datu bāzē. Eksperiments tika veikts Strazdu ielā 1, Jelgavā. Pielietotā uzraudzības sistēma aprakstīta 4. nodalā. Datu nolasīšanas intervāls tika izvēlēts 60 sekundes. Lai no datiem pēc tam varētu secināt par temperatūras raksturlīknēm spiedošanas gadījumā, tad eksperimentu vietā biškopji veica pierakstus par novēroto.

Minētajā eksperimenta laika posmā biškopji novēroja 8 spiedošanas notikumus. Apskatot datus konkrētajos spiedošanas momentos (dati no biškopju pierakstiem), tika secināts, ka šajos laika momentos var izšķirt temperatūras raksturlīknnes, kas būtiski atšķiras no raksturlīknēm, kādās novērojamas bišu normālās darbības laikā.

Attēlā zemāk (sk. 5.6. att.) apkopotas temperatūras izmaiņas spiedošanas laikā. Tās attēlotas 60 minūšu intervālā, kur 0 punktā ir šo spiedošanas gadījumu maksimālās temperatūras vērtības.



**5.6. att. Reģistrēto spiedošanas gadījumu temperatūras likņu apkopojums**  
(Zacepins et al., 2016)

Pēc datu izpētes var secināt, ka spietošanas process nepārsniedz 20 minūtes, kas norāda uz to, ka jāpievērš uzmanība uzraudzības sistēmas datu nolasīšanas intervālam (ja datu nolasīšana tiek veikta ik pēc 20 vai vairāk minūtēm, pastāv iespējamība, ka spietošana netiek konstatēta).

### **Neironu tīklu pielietojums spietošanas atpazīšanā**

Promocijas darba izstrādes laikā tika izvēlēts pielietot neironu tīklus spietošanas atpazīšanai, jo spietošanas laikā novērojamas izteiktas temperatūras svārstības, veidojot konkrētu raksturķīkni (*pattern*). Šīs raksturķīknnes atpazīšanai tika izstrādāti 2 neironu tīkla modeļi, kur atpazīšana veikta pēc dažādām pieejām.

#### **Modelis 1 – laika rindas datu punkti kā ieejas parametri**

Konkrētajā gadījumā tika izvēlēts mākslīgais neironu tīkls ar kļūdu atgriezeniskās izplatīšanās metodi.

Izstrādātais tīkls sastāv no 3 slāniem – ieejas, slēptā un izejas slāņa. Ieejas un slēptais slānis tika papildināts ar vienu neironu (tā vērtība +1) saukts par novirzes (*bias*), dodot papildus svara vērtības visam tīklam (Kviesis, Zacepins, 2016). Par neironu tīkla ieejām tika izvēlēti temperatūras dati par 1 stundas intervālu, rezultātā katras minūtes temperatūra uzskatīta par 1 raksturiezīmi konkrētajai raksturķīknei. Ieejas slāņa dati tika normalizēti, lai to vērtības maksimāli tuvinātos 0 vērtībai, tādā veidā iegūstot ātrāku kļūdas atgriezeniskās izplatīšanās algoritma konverģenci (LeCun et al., 2012).

Konstruētais neironu tīkls tika apmācīts, izmantojot stohastisko apmācības principu. Par aktivācijas funkciju tika izvēlēta sigmoīdas funkcija. Kļūdas samazināšanai tika pielietota gradiента samazināšanas metode (*Gradient descent*). Aprakstītais neironu tīkla modelis tika izveidots programmēšanas valodā *C#*.

#### **Modelis 2 – raksturķīknnes aprakstošās īpašības kā ieejas parametri**

Šajā pieejā tika izveidots neironu tīkls, kur, atšķirībā no iepriekš aprakstītā, ieejas slāni tika izmantotas vērtības, kas apraksta konkrēto raksturķīkni – standartnovirze; dispersija (*variance*); ekscess (*kurtosis*); slīpums (*skew*). Šī modeļa izveidei tika izmantota *Tensorflow* satvara *Keras* bibliotēka.

Modeļa izveide spietošanas atpazīšanai ar *Keras* API tika balstīta uz *Sequential* modeļa tipu, kas sastāv no lineāri sakārtotiem, secīgiem slāniem. Izstrādātais modelis bez ieejas un izejas slāņa sastāv no diviem slēptajiem slāniem ar neironu skaitu 18 un 12. Katra slēptā slāņa aktivācijas jeb pārvades funkcija ir *Rectified Linear Unit (relu)*. Par izejas slāņa pārvades funkciju tika izmantota sigmoīda, kura atgriež vērtību robežās [0;1], kā rezultātā tā ir piemērota klasifikācijas gadījumiem, kad modeļa izejas slāni tiek prognozēta varbūtība (A. Sharma, 2017; S. Sharma, 2017).

Aprakstītais modelis tika kompilets ar *binary\_crossentropy* zuduma funkciju un *Adam* (Kingma & Ba, 2014) optimizācijas algoritmu. Kompiletais modelis tika trenēts ar iterāciju skaitu 150 un pakešu (*batch*) skaitu 10. Lai izvairītos no tā, ka izstrādātais modelis tiek apmācīts tikai konkrētai testu kopai, apmācības procesa laikā tika izmantota iepriekš sagatavota validācijas datu kopa, kas sastādīja aptuveni 10% no apmācības kopas skaita.

Apmācīto neironu tīklu darbība tika pārbaudīta ar vēsturiskiem datiem, novērtējot katras modeļa precīzitāti. Kopā tika pārbaudītas aptuveni 90000 datu kopas. Neironu tīklu modeļu veiktspējas novērtēšanai arī tika ņemta vērā pārpratumu matricas parametri un dažādi veiktspēju raksturojošie rādītāji.

Pēc testa datu kopas pārbaudes tika aprēķināti iepriekš minētie veiktspējas rādītāji, kas apkopoti 5.1. tabulā.

5.1. tabula. **Spiegošanas atpazīšanas modeļu novērtējums**

<b>Modelis #</b>	<b>Pareizība, %</b>	<b>Precīzitāte, %</b>	<b>Atdeve, %</b>	<b>Specifiskums, %</b>	<b>F1, %</b>
1	100	100	~82	100	~90
2	100	~91	100	100	<b>~95</b>

Balstoties uz abu modeļu veiktspējas novērtējumu, Modelis 2 tika uzskatīts par piemērotāko tālākai tā iekļaušanai lēmumu atbalsta sistēmā.

### Alternatīvu analīze

Pēc iepriekš aprakstītās FSS un stāvokļu apstrādes bloka rezultātiem tiek veikta piemērota alternatīvu izvēle. Tātad būtībā šajā problēmsferā var izdalīt 2 alternatīvas: doties pie saimes, vai nē. Gadījumā, ja saimei konstatēts normāls stāvoklis, biškopim tiek norādīts neko nedarīt, jo nav nepieciešams bites lieki traucēt. Kas attiecas uz nezināmu stāvokli (FSS to apzīmē kā “ekstrēms”) vai saimes bojāju, tie norāda uz nepieciešamību apskatīt saimi, bez detalizētas izmaksu aprēķinu veikšanas. Vienīgais, ko var ņemt vērā bojā gājušas saimes gadījumā, ir tas, ka jaunas saimes iegāde ar 4 kārēm maksā aptuveni 90 – 120 EUR. Turklāt jārēķina iespējamā jaunā stropa iegāde, ja bišu saimes ārstē pret kādām slimībām, tad ieteicams tās pārceļt uz jauniem stropiem.

Spiegošanas stāvokļa gadījumā nepieciešams papildus analizēt gadījumus vai doties uz dravu pie konkrētās saimes. Par vienu no šīs izvēles kritérijiem var minēt finansiālos aspektus.

Šī kritērija pielietošanai jāņem vērā dravas atrašanās vieta un izmaksas, lai līdz dravai nokļūtu, piemēram, degvielas cena, automašīnas degvielas patēriņš, patērētais laiks ceļā, personu skaits, personas algas likme stundā u. tml. Tātad iespējams gadījums, kad ierodoties dravā, spiets var būt jau aizlidojis, vai arī tas nemaz nav uzturējies dravas tuvumā. Tas atkarīgs no tā, kādu lēmumu ir pieņēmuši “bites-izlūki”.

Izmaksu aprēķināšanai, kas rodas, lai nokļūtu līdz dravai, tika definēta šāda matemātiskā formula ( 1 ):

$$C_a = (dist * C_{pkm}) + (t_{total} * \sum_{i=1}^n w_i) \quad (1)$$

kur:

$C_a$  – kopējās izmaksas nokļūšanai līdz dravai, EUR;

dist – attālums līdz dravai, km;

$C_{pkm}$  – izmaksas uz vienu km, EUR/km;

$t_{total}$  – kopējais laiks, kas jāpavada ceļā un jāpatēri spiesta saņemšanai, h;

$w_i$  – personas algas likme stundā, EUR/h;

n – personu skaits.

Šo izmaksu attēlošana vien jau biškopim sniegtu primāro informāciju – ar kādām izmaksām nāksies rēķināties, lai nokļūtu līdz bišu dravai.

Lai precīzāk informētu biškopi par potenciālajām kopējām izmaksām, jāņem vērā iespējamais ievāktā medus zaudējums, jo pēc saimes izspiedošanas oriģinālā saime tiek novājināta. Līdz ar to, šādus aprēķinus var balstīt uz dažādu avotu sniegtu informāciju – spiesta vērtība, vidējais medus apjoms, ko viena saime var ievākt, medus cena u. tml.

Spieta radītās izmaksas var risināt, pamatojoties uz literatūrā minētajiem novērtējumiem (piemēram, 21 – 43 EUR pēc (Mizis, 2003)) vai teorētiski aprēķināt spiesta izmaksas, nemot vērā vienas bites cenu. Avotā (“So what does the average honey bee cost?,” 2011) tiek sniegts vienas bites vērtības iespējamais aprēķins.

### **Spieta vērtības aprēķins pēc vienas bites cenas**

Spieta lieluma aprēķināšanai var ņemt vērā bišu skaitu, kas atdalās no saimes, procentuāli, balstoties uz (Rangel, Seeley, 2012), kur norādīts, ka šis lielums var būt ap 75%.

Pārvēršot spiesta lielumu naudas izteiksmē ( 2 ), var iegūt spiesta vērtību:

$$S_{val} = S_{size} * P_{bee} + P_{queen} \quad (2)$$

kur:

$S_{val}$  – spiesta vērtība, EUR;

$S_{size}$  – bišu skaits spietā, gab;

$P_{bee}$  – cena par vienu biti, EUR;

$P_{queen}$  – bišu mātes vērtība, EUR.

Nākamais aspekts, kas būtu jāņem vērā, ir neievāktā medus raža un medus cena tirgū. Tātad kopējie spiesta radītie zaudējumi (ja spietu nenotver) aprēķināmi pēc ( 3 ):

$$S_{cost} = S_{val} + (P_{honey} * L_{honey}) \quad (3)$$

kur:

$S_{cost}$  – spiesta izmaksas, EUR;

$S_{val}$  – spiesta vērtība, EUR;

$P_{honey}$  – medus cena par vienu kg, EUR/kg;

$L_{honey}$  – neiegūtais medus daudzums, kg.

Taču, ja konkrētā saime ir izvesta ganībās, tad jāņem vērā iepriekš ( 1 ) norādītais aprēķins. Līdz ar to apkopojoši iepriekš norādīto informāciju, ieguvums ( $Bnf$ ) no spiesta satveršanas būtu rēķināms pēc ( 4 ):

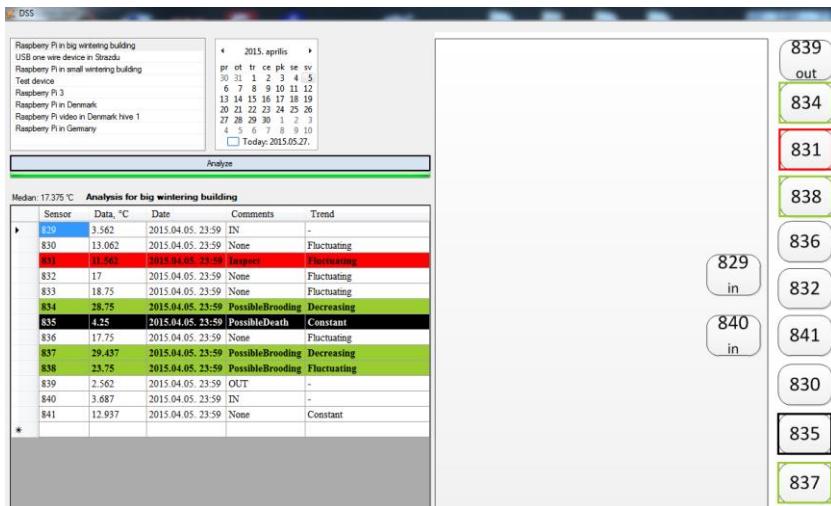
$$Bnf = S_{cost} - C_a \quad (4)$$

Aprakstītā alternatīvu analīze uz šo brīdi atrodas implementācijas stadijā SAMS projekta tīmekļa sistēmā <https://sams.science.itf.llu.lv/swarm-economy>.

Nemot vērā šo sistēmas sniegtu informāciju, biškopis izlemj kā attiecīgajā situācijā rīkoties, kas attiecas uz bišu saimes bojāejas un nezināmiem stāvokļiem, tad šeit biškopim jāapsver došanās konkrēto saimi apskatīt, vadoties pēc izmaksām līdz saimes atrašanās vietai.

Izvēlētās alternatīvas ieviešana izpaužas kā aktivitāte konkrētas bišu saimes stāvokļa gadījumā. Tātad biškopim jāizvērtē izmaksas attiecīgai rīcībai (spiesta saņemšana, saimes apskate) un jāveic konkrētā lēmuma realizācija. Kas attiecas uz LAS lietotāja saskarnes komponenti, kas ļauj lietotājam pārskatīt esošo situāciju viņa dravā, tad tika apsvērti vairāki varianti – lokālas un tīmekļa sistēmas veidā.

LAS pirmās versijas lietotāja saskarne veidota darbvirsmai un apskatāma (sk. 5.7. att.). Attēlā redzamā lietotne veidota C# programmēšanas valodā. Lai lietotājam vizuāli attēlotu situāciju dravā, tika izmantots krāsu kodējums. Ar sarkano krāsu tiek atzīmētas saimes, kuras nepieciešams apskatīt, ar melnu krāsu – saime, kas iespējams, gājusi bojā, ar zaļu – saimes, kuras, iespējams, sākušas perot.



5.7. att. LAS pirmās versijas lietotāja saskarne

Iepriekš apskatītā LAS pirmā versija tika iestrādāta arī tīmekļa sistēmā (<https://bites.science.itf.llu.lv/#dss>), kur lietotājs var apskatīt kopējo situāciju starp saimju temperatūrām. Ja tiek konstatēts, ka kādai saimei nepieciešama apskate (diferencētais likums), tiek attēlots attiecīgs paziņojums (sk. 5.8. att.)



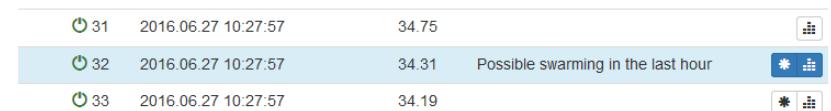
5.8. att. Paziņojums par nepieciešamību apskatīt saimi

Lietotājs tiek brīdināts arī gadījumā, kad ir aizdomas par kādas saimes bojāeju (sk. 5.9. att.).



5.9. att. Paziņojums par saimes iespējamo bojāeju

Arī spiedošanas notikumus iespējams aplūkot tīmekļa sistēmā (sk. 5.10. att.), kur tiek attēloti pēdējās stundas laikā fiksētie notikumi, turklāt sistēmā nodrošināta iespēja apskatīt arī vēsturiskos spiedošanas datus par katru saimi.



5.10. att. Spiedošanas notikumu attēlojums tīmekļa sistēmā

Kā redzams, tad grafiskā lietotāja saskarne nesatur sarežģītus elementus, bet biškopim nodrošina saprotosu informāciju.

### Izvēlētās alternatīvas izpildes novērtējums

Lēmuma procesa pieņemšanas fāze, kurai, autoraprāt, tiek pievērsta pārlieku maza uzmanība. Pēc konkrētās alternatīvas izpildes lietotājam būtu jāizdara attiecīgie secinājumi. Jo, kļūdainu stāvokļu identificēšana var radīt finansiālus zaudējumus. Principā šis solis uzskatāms par sistēmas veikspējas atsauksmi, atgriezenisko saiti, daļēji arī testēšanu. Nekorektu stāvokļu atpazīšanas gadījumos izstrādātie modeļi jāpapildina ar jaunām apmācības kopām, jaunu informāciju, to uzlabošanai.

Lietotājam jānovērtē arī alternatīvu analīzes metodes, jo iespējami dažādu faktoru papildus iekļaušana, piemēram, laika prognoze vai citas, līdz šim nenoskaidrotas izmaksu vienības. Protams, lietotājam jānovērtē arī konkrētajā situācijā sava pieņemtais lēmums.

### Izstrādātā LAS prototipa perspektīvas un uzlabojumi

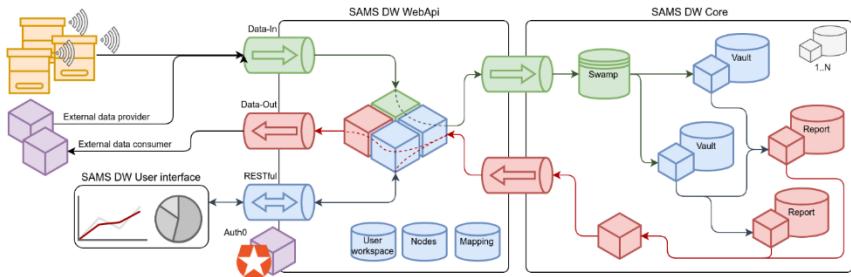
Promocijas darbā aprakstīto bišu saimju vadības sistēmas metodiku – pielietotās tehnoloģijas, zināšanu bāzes pārvaldība – iespējams pielietot arī citās nozarēs. Kā piemēru var minēt vairākus starptautiskos pētniecības projektus, kuros pētnieka statusā darbojas arī promocijas darba autors.

Starptautiskajā ERA-Net SUSAN projektā PigSys plānota LAS izstrāde, kur promocijas darbā aprakstītā pieeja ir pilnībā pielāgojama cūkkopības nozarei. Pēc datu iegūšanas, piemēram, videodati par cūku (bioloģiska daudzobjektu sistēma) uzvedību aizgaldos, ar faziloģikas slēdzienu sistēmā definētiem likumiem, būtu iespējams identificēt neatbilstošu cūku uzvedību – vai konkrētais bioloģiskais objekts pārāk ilgu laiku atrodas guļas stāvoklī, vai pārvietojas; cik uzraudzībai pakļautais dzīvnieks patēriū ūdeni un barību u. tml.

Apvārsnis 2020 programmas projekta SAMS ietvaros promocijas darbā piedāvātā LAS ar faziloģiku uzskatāma kā lēmumu atbalsta sistēmas uzlabojums. Turklāt šeit parādās arī promocijas darbā minētās faziloģikas slēdzienu sistēmas pozitīvās iezīmes – Etiopijā un Indonēzijā ir krasī atšķirīgs klimats, kas atsaucas uz bišu uzvedību un stropā esošo temperatūru visā gada garumā, līdz ar to FSS ir ērti papildināma ar jauniem likumiem, nemot vērā atrašanās vietu.

HIVEOPOLIS (Apvārsnis 2020 programmas projekts) projekts kārtējo reizi apliecinā, ka precīzās biškopības joma joprojām ir aktuāla, un promocijas darbā veiktā pētījuma rezultātus iespējams pielietot/pielāgot arī šajā projektā.

Kā vienu no būtiskākajiem uzlabojumiem var minēt datu glabāšanu un apstrādi, proti, pielietot datu noliktavas principus, kas jau tiek pētīts PigSys un SAMS projektu ietvaros. Datu noliktavas konceptuālā shēma demonstrēta 5.11. att.



5.11. att. **Datu noliktavas koncepts datu apstrādei**  
(Komasilovs et al., 2019)

Kas attiecas uz datu glabāšanu, interesantu konceptu datu glabāšanai prezentē (Parikh, Stirman, 2013), proti, laika rindas datu glabāšana NoSQL tipa datubāzē *MongoDB* ar dokument-orientētu dizainu, kur vairākus ierakstus var glabāt vienā dokumentā. Pie šādas pieejas implementācijas darbojās arī promocijas darba autors, piedaloties datu noliktavas praktiskajā izstrādē.

# **SECINĀJUMI**

## **Galvenie darba rezultāti**

- 1) Izpētīta un analizēta lēmumu atbalsta sistēma un tās realizācijas iespējas biosistēmu vadībai.*

Lēmumu atbalsta sistēmas arhitektūru veido 5 galvenās komponentes – datu vadības sistēma, modeļu vadības sistēma, zināšanu bāze, lietotāja saskarne, lietotājs – no kurām īpaši jāizceļ lietotājs un lietotāja saskarne, kas nodrošina sistēmas efektīvu pielietošanu. Neņemot vērā lietotāja lomu (sistēmas izmantotājs) un izstrādājot sarežģītu, lietotājam nesaprotram, saskarni (nodrošina saziņu starp lietotāju un sistēmu) lēmumu atbalsta sistēmas efektivitāte strauji samazinās; lietotājs nespēj izmantot sistēmas sniegtot potenciālu. Pēc konkrētās LAS komponentes dominances var izdalīt vairākus LAS paveidus.

LAS attīstības gaitā “nostiprinājušies” lēmuma pieņemšanas procesa septiņi izpildes soļi (problēmas identificēšana un definēšana, alternatīvu ģenerēšana, modeļu izstrāde, alternatīvu analīze un izvēle, ieviešana) ir attiecīnami bioloģisko objektu, šajā gadījumā, bišu saimes uzraudzībā. Ieviešanas fāze izpaužas kā biškopja veiktā rīcība pie attiecīgas bišu saimes stāvokļa iestāšanās, kur pieņemtā lēmuma pareizība jāsecina pēc ekonomiskajiem faktoriem (zaudējumi, ieguvumi). Savukārt promocijas darba autoraprāt, pārlieku maz tiek likts akcents uz pieņemtā lēmuma novērtēšanu, kā rezultātā piedāvāta modifīcēta lēmuma pieņemšanas procesa koncepcija, izdalot novērtēšanas procesu kā atsevišķu fāzi.

Faziloģika ar slēdzienu sistēmu ir efektīgs risinājums, kas bieži tiek izmantota LAS kā zināšanu apstrādes sistēma, sniedzot priekšrocības problēmu raksturojošo likumu formulējumu papildināšanā un paplašināšanā. Faziloģikas slēdzienu sistēmas mehānisms ir pielāgojams bioloģisko sistēmu uzraudzībā iegūto datu analizēšanai.

- 2) Izstrādāts automatizēts risinājums bioloģiskas sistēmas uzraudzībai.*

Datu savākšanai nepieciešama automatizēta sistēma, kas spēj veikt nepārtrauktu konkrēta intereses objekta uzraudzību. Promocijas darbā piedāvātas dažādas uzraudzības sistēmas arhitektūras bioloģisko daudzobjektu uzraudzībai, izšķirot to pozitīvās un negatīvās iezīmes. Izstrādāts arī piemērotākās sistēmas izvēles algoritms. Balstoties uz apskatītajām arhitektūrām, izpētītas uzraudzības sistēmā pielietojamās tehnoloģijas un izstrādātas divas, atšķirīga tipa, uzraudzības sistēmas – vadu un vadu, bezvadu apvienojums (hibrīdsistēma). Hibrīdsistēma demonstrē risinājumu speciālam gadījumam, norādot uz sistēmas arhitektūru daudzveidības iespējām.

- 3) *Izstrādāts automatizēts lēmumu atbalsta sistēmas prototips bioloģiskas sistēmas vadībai.*

Balstoties uz teorijā norādīto par LAS izveidi, izstrādāts LAS prototips bioloģiskas sistēmas vadībai. Izstrādātais prototips ir datu, modeļu un zināšanu vadīts. Zināšanu bāzes apstrādei izmantota faziloģikas slēdzienu sistēma, kas ļem vērā bišu saimes un apkārtējās vides temperatūru, šo temperatūru starpību, gada mēnesi un izmaiņas bišu saimes temperatūrā. Faziloģikas slēdzienu sistēma izdala trīs stāvokļus (norādot kopējās saimes veselīguma pakāpi) – bojāeja, ekstrēms, normāls. Stāvoklis “ekstrēms” var iekļaut dažādus, arī neidentificētus stāvokļus, kur spiegošanas stāvokļa identificēšanai tiek aktivizēts izveidotais neironu tīkls.

- 4) *Eksperimentāli novērtēta izstrādātā lēmumu atbalsta sistēmas prototipa darbība bišu saimes stāvokļu atpazīšanā.*

Izstrādātā lēmumu atbalsta sistēmas prototipa zināšanu apstrādes bloks tika validēts ar dažādu stāvokļu datu kopām, uzrādot stabiliu darbību. Atsevišķi validēta gan faziloģikas slēdzienu sistēma, gan spiegošanas identificēšanas neironu tīkls, aprēķinot to veiktspējas rādītajus. Alternatīvu analīzei piedāvāti potenciālie matemātiskie modeļi spiesta vērtības (zaudējumi spiesta nesaķeršanas gadījumā) un ceļa izmaksu līdz dravai aprēķināšanai. Nemot vērā šo alternatīvu analīzi, biškopīm jāpieņem, viņaprāt, piemērotākais lēmums.

Izstrādātās uzraudzības sistēmas un LAS prototipa pirmās versijas tika pielietotas starptautiskā projekta ITAPIC ietvaros.

Bišu saimes identificēto stāvokļu attēlošanai, izstrādāta lietotāju saskarne, kas pieļauj lietotājam veikt *what-if* analīzi, mainīt vērtības un novērot diferencētā likuma rezultāta izmaiņas.

LAS ieviešanas fāzes eksperimentālo novērtēšanu precīzajā biškopībā sarežģī konkrētā gadalaika ietekme – konkrēts bišu saimes stāvoklis, ko nevar iepriekš prognozēt, lai veiktu atkārtojamību un analizētu veiktās darbības ietekmi uz bišu saimi.

### **Secinājumi un attīstības perspektīvas**

Kā galvenos **secinājumus** var izdalīt:

- 1) lēmumu atbalsta sistēma ir pielāgojama biškopības nozarei bišu saimju vadībai;
- 2) pēc temperatūras datiem iespējams identificēt vairākus bišu saimes stāvokļus (tajā skaitā spiegošanu), kad novērojams izteikts temperatūras kāpums;
- 3) hibrīdsistēma paplašina vadu un bezvadu sistēmas priekšrocības un minimizē daļu to trūkumus;

- 4) faziloģikas slēdzienu sistēma LAS zināšanu apstrādei piedāvā ērtu veidu papildus likumu pievienošanai un papildināšanai. Izstrādātā faziloģikas slēdzienu sistēma uzrādīja stabilus veiktspējas rādītājus: ~98% pareizība, 100% precizitāte un specifiskums, ~97% atdeve (*recall*), ~98% F1 vērtējums;
- 5) spiedošanas stāvokļa precīzākai identificēšanai ar *Tensorflow* satvara izstrādātais modelis uzrādīja šādus veiktspējas rezultātus: ~100% pareizība, ~91% precizitāte, ~100% specifiskums, 100% atdeve, ~95% F1 vērtējums;
- 6) bišu saimes bojāejas konstatēšanai iespējams pielietot temperatūras tendences analīzi, apvienojot dažādas metodes (Pīrsona, Spīrmena, Kendela ranga korelācijas). Šādas pieejas demonstrēšana norādīja uz potenciālu minētā stāvokļa sekmīgai identificēšanai;
- 7) alternatīvu analīzei izstrādātie matemātiskie modeļi ļauj izvērtēt darbību veikšanu konkrētu stāvokļu gadījumos;
- 8) alternatīvu analīze norādīja uz būtisku ietekmi uzraudzības sistēmu lietderīgumam, jo, laicīgi konstatējot saimes stāvokli, iespējams izvairīties no papildu izmaksām.

Savukārt pie galvenajām attīstības **perspektīvām** var minēt:

- 1) izstrādātās LAS pielāgošanu dažādu starptautisko projektu (SAMS, PigSys, HIVEOPOLIS) ietvaros, dažādu objektu uzraudzībai, vadībai (bites, cūkas);
- 2) datu glabāšanas un organizēšanas uzlabojumi, pielietojot datu noliktavas koncepciju;
- 3) uzraudzības sistēmu papildināšana vairāku parametru mērišanai (mitrums, svars, skaņa);
- 4) faziloģikas sistēmas papildināšana ar likumiem, kas nēm vērā citu mērīto parametru vērtības – mitrums, svars, audio dati – un šo parametru izmaiņu īpatnības dažādos reģionos.

## PARTICULARS

**Research was executed at:** Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Information Technologies, Department of Computer Systems, Liela iela 2, Jelgava, Latvia.

**Experiments were executed at:** Latvia University of Life Sciences and Technologies, Faculty of Information Technologies, Department of Computer Systems, Liela iela 2, Jelgava, Latvia; Institute of Soil and Plant Sciences, Strazdu iela 1, Jelgava, Latvia.

**Scientific advisor of the PhD thesis:** Dr.sc.ing. Aleksejs Zacepins, Associate Professor, Latvia University of Life Sciences and Technologies.

**The thesis was approved** at the expanded academic session of the Department of Computer Systems, Faculty of Information Technologies of the Latvia University of Life Sciences and Technologies on 26 February 2019. Minutes No. 2.

### **Official Reviewers:**

1. Professor of the Latvia University of Life Sciences and Technologies, Dr.sc.ing. Aivars Kaķītis;
2. Professor of the Riga Technical University, Dr.sc.ing. Agris Nikitenko;
3. Associate Professor of the Universidade Federal do Ceará, Ph.D Danielo G. Gomes.

**The defence of the doctoral thesis** will take place at the open session of the Promotion Council in the field of Information Technologies of LLU at 10:00 a.m. on 29 August 2019, Room 278, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Liela iela 2, Jelgava, Latvia.

The thesis can be accessed at the LLU Fundamental Library, Liela iela 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 scanned to secretary of Promotion Council – Liela iela 2, Jelgava, LV-3001: phone (+371) 63022584; 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) **Kviesis, A.**, & Zacepins, A. (2015). System Architectures for Real-time Bee Colony Temperature Monitoring. *Procedia Computer Science*, 43C, pp. 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.12.012> (Indexed in Web of Science, SCOPUS);
- 2) **Kviesis, A.**, Zacepins, A., Durgun, M., & Tekin, S. (2015). Application of Wireless Sensor Networks in Precision Apiculture. In Proceedings of the 14th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT, pp. 440-445. (Indexed in Web of Science, SCOPUS);
- 3) **Kviesis, A.**, Zacepins, A., & Riders, G. (2015). Honey bee colony monitoring with implemented decision support system. In Proceedings of the 14th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT, pp. 446-451. (Indexed in Web of Science, SCOPUS);
- 4) **Kviesis, A.**, & Zacepins, A. (2016). Application of neural networks for honey bee colony state identification. In Carpathian Control Conference (ICCC), 2016 17th International, pp. 413–417. (Indexed in Web of Science, SCOPUS);
- 5) Zacepins, A., **Kviesis, A.**, Ahrendt, P., Richter, U., Tekin, S., & Durgun, M. (2016). Beekeeping in the future – Smart apiary management. In Carpathian Control Conference (ICCC), 2016 17th International, pp. 808-812. (Indexed in Web of Science, SCOPUS);
- 6) Zacepins, A., **Kviesis, A.**, Stalidzans, E., Liepniece, M., & Meitalovs, J. (2016). Remote detection of the swarming of honey bee colonies by single-point temperature monitoring. *Biosystems Engineering*, 148, pp. 76-80. (Indexed in Web of Science, SCOPUS);
- 7) Zacepins, A., Pecka, A., Osadcuks, V., & **Kviesis, A.** (2017). Development of Internet of Things concept for Precision Beekeeping. In Carpathian Control Conference (ICCC), 2017 18th International. (Indexed in Web of Science, SCOPUS);
- 8) Zacepins, A., Pecka, A., Osadcuks, V., **Kviesis, A.**, & Engel, S. (2017). Solution for automated bee colony weight monitoring. *Agronomy Research*, 15(2), pp. 585–593. (Indexed in Web of Science, SCOPUS);
- 9) **Kviesis, A.**, Klavina, A., & Vitols, G. (2017). Development of classroom microclimate monitoring system. In Proceedings of the 16th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT, pp. 719-724. (Indexed in Web of Science, SCOPUS);
- 10) Komasilovs, V., Sturm, B., Nasirahmadi, A., Zacepins, A., & **Kviesis, A.** (2018). Solution for remote real-time visual expertise of agricultural objects. *Agronomy Research*, 16(2), pp. 464-473. (Indexed in Web of Science, SCOPUS);

- 11) Zacepins, A., Jelinskis, J., **Kviesis, A.**, Dzenis, M., Komasilovs, V., & Komasilova, O. (2018). Application of LoRaWAN technology in precision beekeeping. In Agrosym 2018 Book of proceedings, pp. 1759–1765.
- 12) Komasilovs, V., **Kviesis, A.**, Zacepins, A., & Bumanis, N. (2018). Development of the data warehouse architecture for processing and analysis of the raw pig production data. AGROFOR International Journal, 3(3), pp. 64–71. <https://doi.org/10.7251/AGRENG1803064K>
- 13) Komasilovs, V., Zacepins, A., **Kviesis, A.**, Fiedler, S., Kirchner, S. (2019). Modular sensory hardware and data processing solution for implementation of the precision beekeeping. *Agronomy Research*, 17(2), pp. 509-517. (Indexed in Web of Science, SCOPUS).

The research results were presented at the following conferences:

- 1) "Honey bee colony temperature monitoring based on Raspberry Pi" 19. studentu starptautiskā zinātniski praktiskā konference "Human.Environment.Technology.", 22.04.2015, Rēzekne, Latvija.
- 2) "Implementation of wireless sensor network in precision apiculture" 10. starptautiskā zinātniskā konference "Students on Their Way to Science", 24.04.2015, Jelgava, Latvija.
- 3) "Application of Wireless Sensor Networks in Precision Apiculture" 14. starptautiskā zinātniskā konference "Engineering for Rural Development", 20.-22.05.2015, Jelgava, Latvija.
- 4) "Honey bee colony monitoring with implemented decision support system" 14. starptautiskā zinātniskā konference "Engineering for Rural Development", 20.-22.05.2015, Jelgava, Latvija.
- 5) "Future development perspectives of the Precision Apiculture (Precision Beekeeping)" 25. NJF kongress "Nordic View to Sustainable Rural Development", 16.06.2015-18.06.2015, Rīga, Latvija.
- 6) "Precīzās biškopības metožu pielietojums bišu saimju uzraudzībā". Zinātniski praktiskā konference "Līdzsvarota lauksaimniecība", 25.-26.02.2016, Jelgava.
- 7) "Application of Artificial Neural Networks for Honey Bee Swarming Identification" 7. starptautiskā konference "Biosystems Engineering", 12.-13.05.2016, Tartu, Igaunija.
- 8) "Application of Neural Networks for Honey Bee Colony State Identification" 17. starptautiskā konference "Carpathian Control Conference ICCC' 2016", Tatranska Lomnica, Slovākija.
- 9) "System Architectures for Honey Bee Colony Monitoring" 21. studentu starptautiskā zinātniski praktiskā konference "Human.Environment.Technology.", 19.04.2017, Rēzekne, Latvija.
- 10) "Application of Internet of Things for Beehive Management" 21. studentu starptautiskā zinātniski praktiskā konference "Human.Environment.Technology.", 19.04.2017, Rēzekne, Latvija.

## INTRODUCTION

Monitoring of internal processes can be considered as one of the most important tasks within systems (as well multi-object biological systems). The information gained during the monitoring, can be used to control further processes that may have a significant impact on the operation of the whole system. Therefore, the action of process management is of great importance, since it depends on the analysis of obtained data and can predict the system's further state. Regarding data analysis, the system of interest can be supplemented with a decision support system (DSS).

The monitoring of biological objects can provide important and up to date information about the state of the system concerned. Data obtained from monitoring requires complex processing and are time consuming when done manually. Implementation of a DSS can not only facilitate such process, but also help to manage and control the operation of the system and, based on the results of analysis, inform the person of interest about the necessary actions to be taken.

Multi-object biological system can be defined as a system that consists of a set of biological objects. Examples of multi-object biological systems include poultry, pigs, cows, sheep flocks etc. Monitoring of these systems can provide information on the behavior of these animals in fattening or rearing complexes where control of these processes are particularly important. Multi-object biological systems also include honey bee colony.

Honey bees are considered as one of the most important insects, playing the role as the main pollinators – 85% from all the flowers are pollinated by bees (Warnke, 2009). European Commission (“Honey bees”, 2016) states that bees are important for either, the environment and economics, since the pollinators (honey bees, bumblebees, wild bees) contribute more than 22 billion EUR for the European agriculture industry every year. Alongside the pollination of crop and plants, bees provide various other products like pollen, bee wax, propolis, to name a few, to be used in food technologies, medicine etc.

The importance of honey bees is highlighted by the fact that their existence is threatened – there are more and more causes that lead to result of the death or sudden disappearance of bees. The phenomenon of sudden disappearance is called “Colony Collapse Disorder” (CCD) when a large amount of bees disappear, and only the queen, some nurse bees and a lot of food remains in the hive. Although by (“Colony Collapse Disorder,” 2013) data, the recent number of this phenomenon occurring has rapidly decreased (from 60% in 2008 to 31% in 2013), but the real reasons for such a phenomenon are still not fully understood (Milius, 2018). Besides the CCD, there are also other threats: parasites and pests, pathogens, poor nutrition and exposure to pesticides (“ARS

Honey Bee Health and Colony Collapse Disorder,” 2016). These mentioned factors clearly emphasize the cause of the recent concerns about honey bee existence in the future.

Precision beekeeping (PB) or precision apiculture was recently defined by (Zacepins et al., 2012). It is an apiary strategy, focusing on individual honey bee colony monitoring in order to decrease resource consumption and increase the productivity of bees (Zacepins et al., 2012).

From 2013 to 2016 Faculty of Information Technologies (Latvia University of Life Sciences and Technologies) coordinated ERA-Net ICT-AGRI (under 7th Framework Programme for Research) international project “Application of Information Technologies in Precision Apiculture” (ITAPIC, No. Z/13/1128). Author of this PhD thesis also participated in this project as a researcher. ITAPIC project (“Project information,” 2013) focused on adapting precision agriculture technologies and principles into beekeeping by using novel information and communication technologies, resulting in automatic identification of different honey bee colony states and notifying the beekeeper about necessary actions. The contribution of the author of this PhD thesis was related to the development of monitoring systems and DSS, including, rule definition, automatic state identification, DSS implementation within web system.

The three phase cycle can be applied to PB the same way as in precision agriculture. This cycle includes data collection, data interpretation, analysis and implementation. The goal of data collection phase is to develop tools for uninterrupted, real-time honey bee colony monitoring (Zacepins et al., 2015). According to (McBratney et al., 2005), data analysis is a stumbling block in precision agriculture. There are several studies described in (Zacepins et al., 2015) in order to detect honey bee pre-swarming period, broodless state, the start of brood rearing etc.

DSS is considered as a subsystem in PB (Zacepins et al., 2015) that analyzes and interprets measurement data. According to (“Welcome to colonymonitoring.com!,” n.d.) the analysis of the data obtained by honey bee colony monitoring systems are still carried out by the beekeeper using spreadsheet-like applications (e.g., *Microsoft® Excel*, *LibreOffice® Calc*) or other methods. As it is mentioned by (Zacepins et al., 2015), there are different DSS and expert systems related to beekeeping, but those are not aimed at individual honey bee colonies, which is the focus point of this PhD thesis. PB can use algorithms and defined rules that characterizes bee colony states by importance level and based on this level DSS can provide the beekeeper with various alternatives, where the choice is left to the beekeeper. To make the DSS

more robust, different data sources can be combined: video, audio, weight, temperature etc. (Zacepins et al., 2015)

The importance of honey bees is also highlighted by the two international “Horizon 2020” projects (in both projects the author of this PhD thesis is working as a researcher). One of the project “International partnership on Innovation in Smart Apiculture Management” (SAMS, No. 780755) started on January 2018, the second project “Futuristic Beehives for a Smart Metropolis” (HIVEOPOLIS, No. 824069) started on April 2019.

Project SAMS continuous the research conducted in ITAPIC project. Project includes partners from European Union (EU), Ethiopia and Indonesia. The main aim is to strengthen the international cooperation between EU and developing countries in the field of information technologies focusing on sustainable agriculture. The HIVEOPOLIS project focuses on development and management of futuristic beehives that would serve as a support for bee well-being in a harsh, industrial urban environment.

Knowledge gained through this PhD thesis, can be applied not only to the beekeeping field, but also to other fields, e.g., pig production. As an example another project can be mentioned, named PigSys (No. ES RTD/2017/22), which is an ERA-Net SUSAN project “Improving pig system performance through a whole system approach”, that is aimed at improving the efficiency of pig production. Author of this PhD thesis also participates in this project as a researcher and works on data processing (development of data warehouse), data analysis and development of a DSS.

The PhD thesis includes research on development of a DSS prototype in order to identify various honey bee (*Apis mellifera*) states, indicating its interdisciplinarity. Honey bee colony state identification as a whole includes development of monitoring system, data analysis and development of algorithms to ensure automatic colony state identification. The results of this research can be applied to develop precision beekeeping direction not only locally in Latvia, but also globally, as demonstrated by already existing activities within the international projects with partners from Europe, Indonesia and Ethiopia.

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

The aim of PhD thesis is to improve the control of multiobject biological system. In order to achieve the aim several tasks were set:

- 1) to analyze decision support systems and their realization options regarding biological system control;
- 2) to develop automated solution for biological system monitoring purposes;

- 3) to develop automated decision support system's prototype for biological system control;
- 4) to experimentally evaluate the developed decision support system's prototype in order to recognize various honeybee states.

## **Research methods**

Analysis of scientific literature and other resources.

Observation, comparison, induction, deduction experiments and conclusions.

Comparison of several technological modules was performed by applying decision matrix methodology.

Single board computers (*Raspberry Pi*, *Odroid-C0*) as well as custom circuit board (developed by author of this PhD thesis) was used for biological object monitoring purposes. Data collection applications were developed in *Python* and *C/C++* programming languages.

Desktop application (*C#* programming language) was developed to access the measurement data. Additional functionality was added to an existing ITAPIC web application (*Java* programming language, *Spring Boot* framework, *AngularJS* front-end web framework).

To identify different honey bee colony states a fuzzy logic library *jFuzzyLogic* was used.

To identify swarming different methods were introduced – an algorithm that takes into account temperature dynamics, and two neural networks (in *C#* and *Python* (*Tensorflow* framework) programming languages).

Developed methods were evaluated according to confusion matrix methodology and statistical methods.

## **Scientific novelty and practical value**

- A modified decision making process concept is proposed, which emphasizes the importance of assessing the impact of the decision taken.
- Different honey bee colony state identification by temperature data using artificial intelligence methods.
- Decision support system's prototype for automatic bee colony state identification has been developed.
- Models for the process of selecting alternatives to the decision support system have been developed.

Practical value of the PhD thesis is related to the implementation and application of the developed systems within international scientific projects. The developed DSS prototype is applicable either to apiary monitoring and

management (SAMS, HIVEOPOLIS projects) and pig production (PigSys project) field.

Studied monitoring system architectures and fuzzy logic inference system is adaptable in various domains – indoor microclimate monitoring in offices, lecture rooms etc.; other biological object monitoring (chickens, cows, sheep etc.).

**Participation in scientific projects related to PhD thesis development:**

**ITAPIC** (7th Framework Programme ERA-Net ICT-AGRI project “The Application of Information Technologies in Precision Apiculture”, No. Z/13/1128), **SAMS** (Horizon 2020 project “International partnership on Innovation in Smart Apiculture Management”, No. 780755), **HIVEOPOLIS** (Horizon 2020 project “Futuristic Beehives for a Smart Metropolis”, No. 824069), **PigSys** (ERA Net SUSAN project ‘Improving pig system performance through a whole system approach”, No. ES RTD/2017/22).

### **Theses**

- Decision support system and its components are adaptable to multi-object biological systems.
- Several significantly important honey bee colony states can be identified automatically by using only temperature data.
- Application of decision support system in precision beekeeping is cost-effective.

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

The PhD thesis is written in Latvian containing abstract, introduction, 5 chapters, conclusions, bibliography, 5 annexes, 69 figures, 11 tables, 144 pages in total. References to 235 literature sources were made.

## 1. DIVERSITY OF SYSTEMS

Almost every day we are facing different systems. Regarding system's definition it must be pointed out that every scientific article, book that is related to systems, gives its definition. Academic term database <http://termini.lza.lv/> provides several definitions:

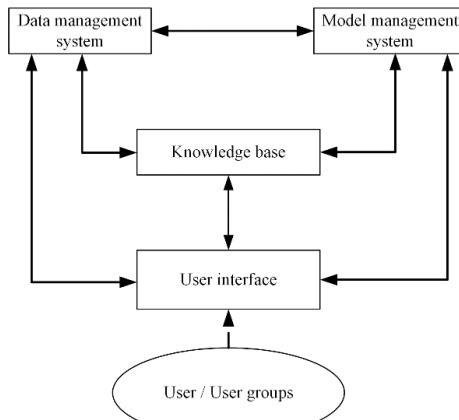
- a set of objects, procedures or techniques and their relationship that functionally forms a single entity;
- a set of units and devices that collaborate to execute a specific task.

A somewhat global definition is provided by (Miller, 1978): the universe of all existing things can be considered as a universe of systems, where system is defined as any connected and interacting set of elements. These definitions show the diversity of systems. Overall several systems can be distinguished: natural, human made, online, real-time, expert, knowledge-based, decision support systems and other.

In general “decision support system” is considered as any system that supports the user with any kind of decision making (Bruen, 2006). The decision, on the other hand, is a choice from many options, which should also include the option of doing nothing. Since the DSS provides many functionalities, it has led to several simple, but general DSS definitions. According to (Marakas, 2003), there are as many DSS definitions, as one can find articles and books about this topic.

Decision support systems do not make decisions on their own, but rather help with decision making (Yourdon, 2006). The main characteristics of a DSS include: it supports the decision maker, but does not replace him; it supports all phases of the decision making process; it is under DSS user's control; it is interactive and user friendly (Marakas, 2003; Power, Sharda, 2009).

The architecture of a DSS is constructed (see Fig. 1.1) from 5 components – data management system, model management system, knowledge base, user interface, user or users. Some authors distinguish three (Druzdzel, Flynn, 2002) or four (Aronson et al., 2005) main components, where user interface and users are merged together.



**Fig. 1.1 DSS architecture**  
 (Jaiswal, 2014)

Some of the scientific articles provide information about studies where DSS knowledge processing is based on fuzzy inference system (FIS). Such a system has many advantages like rule definition by using syntax that can be easily interpreted by human beings, a convenient way of expanding or modifying the rule base. Other advantages include their application to either linear or nonlinear problems (Baron et al., 2001).

Without the architecture of a DSS it is also important to point out the process of how the decisions are made. It is of great importance to understand the actions that need to be taken in order to make decision. By conducting various researches (Felsberger, Oberegger, Reiner, 2016; Juneja, 2019; Shim et al., 2002; Zacepins, 2013) it was concluded that the main activities regarding decision making process are: problem identification, problem definition, generating alternatives, choice of alternatives and alternative implementation.

The author of this PhD thesis believes that there is not enough attention drawn towards the assessment of the decision made, therefore this should be considered as a separate phase in the whole decision making process.

## 2. BIOLOGICAL MULTI-OBJECT MONITORING

Biological system is defined as “a complex network of biologically relevant entities” (“Biological system,” n.d.). Although biological systems are not rational agents, that can get input data, logically process them and serve output data. A biological system is a chaos of many mechanisms that work in different ways, creating behavior that can be observed and rationalized (Brooks, 1991). In the context of this PhD thesis, the term “biological multi-object system”

can be defined as a system consisting of a set of many biological objects (belonging to one species).

Monitoring can be explained as a manual or automatic action in order to observe the actual state of the object (<http://termini.lza.lv/>), meaning that it is possible to monitor either live (humans, animals) or artificial (systems, programs) objects.

Honey bee colony can be considered as a unite organism (Šteiselis, 2009) or as stated in this PhD thesis – biological multi-object system. According to (Zacepins et al., 2015), DSS in this sense can be considered as a subsystem of precision beekeeping, where DSS is mainly responsible for data analysis and interpretation.

When conducting various scientific studies there was no information about complete DSS that are specifically focused and applied on honey bee colony management, e.g., colony state identification, informing the beekeeper about bee behavior. However there are multiple researches dedicated to this context (“BuzzBox,” n.d.; Edwards-Murphy, Magno, Whelan, O’Halloran, Popovici, 2016; Douglas S Kridi, de Carvalho, Gomes, 2016; Douglas Santiago Kridi, Carvalho, Gomes, 2014; Mahaman et al., 2002; Markovic, Pešović, Djurasevic, Sinisa, 2016; Vlad, Ion, Cojocaru, Ion, Lorent, 2012).

One of the main positive aspects of honey bee colony monitoring is that it allows to observe the behavior of the colony remotely, without the need to open the hive and disturb the bees (Zacepins et al., 2016). Hive openings and other actions, like manual weighting, raises the anxiety of bees that can be clearly observed in temperature data (see Fig. 2.1).

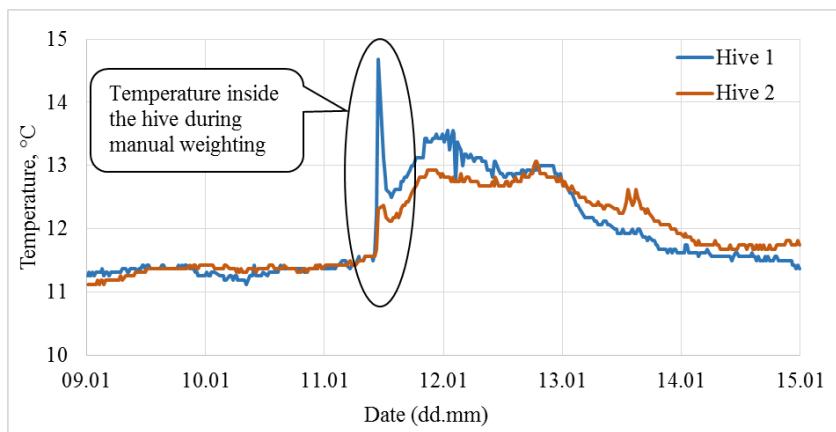


Fig. 2.1. Disturbance during manual weighting

Different parameters (temperature, humidity, weight, vibration etc.) can be monitored, where the combination of these data makes the DSS diverse, extending the possibilities to identify various colony states. Within PhD thesis the focus was put on the most cost-effective parameter monitoring, in this case, temperature. The possible identification of different honey bee colony states by taking into account only temperature data is indicated by (Zacepins, 2012), also stating the impact of seasons where the same type of data patterns should be interpreted differently.

Some of the important honey bee colony states include brood rearing, colony death, diseases, swarming and others.

### 3. MONITORING SYSTEM ARCHITECTURES

A diversity can be found among monitoring system architectures that can be applied to monitor in-hive microclimate. The differences between these architectures are determined by various factors: measurement devices, data storage concepts, data transmission technologies (wire, wireless) etc.

**On-site monitoring** is based on data access on-site (Romanov, n.d.), meaning that data are not collected and sent anywhere for storing. Sensors can be equipped with a display (e.g., temperature sensor) to view the current data. Since data are not stored automatically, beekeeper should take notes and log measurements manually (Kviesis, Zacepins, 2015).

**Computer as a measurement device** is an approach that utilizes personal computer (PC) (if any) found in the apiary and stores data locally on a hard drive (Meitalovs et al., 2009; Vornicu, Olah, 2004; Zacepins et al., 2011). Data can be accessed by using a developed desktop or web application with implemented DSS. Such system can provide information about honey bee colony states and behavior and sent notifications to beekeeper (Kviesis, Zacepins, 2015). Several remote tools (*TeamViewer*, *RAdmin* etc.) can also be used to access data remotely.

**Monitoring with apiary's computer and remote computational center.** This approach expands the previous one by adding stand-alone computational center. Data are collected as before (by using a PC) and sent to the remote database via internet. In such setup the PC is being used as a measurement device. There are different possible data transfer scenarios – sending a copy of a local *Microsoft® Access* database (Zacepins, Meitalovs, 2014); direct data transfer by using SQL queries or executing HTTP POST request method on a web server. To access data publicly a web server can be set up on the computational center with implemented DSS (Kviesis, Zacepins, 2015).

**Monitoring with an interface device.** Architecture that is derived from the previous one, where instead of an apiary's PC a specific interface device is used. Such a device can be a custom made circuit board or other electronic

platform like *Arduino* and *Raspberry Pi* (router is not being considered as an interface device in this context). This architecture (see Fig. 3.1.) consists of 2 main components: interface device (data collection and transfer), remote computational center (data storing, analysis). As in previous architecture DSS can be implemented in the computational center as well.

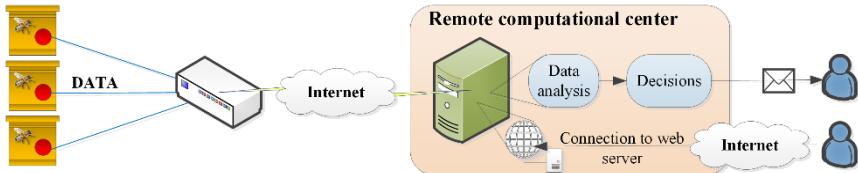


Fig. 3.1. Interface device as measurement node  
(Kviesis, Zacepins, 2015)

Wireless sensor networks (WSN) can also be used within this architecture. Sensor data are collected with measurement nodes (one node per hive) that sends the data to the main node for further data transfer.

**Monitoring by applying internet of things (IoT) principles.** This architecture is based on wireless data transfer to remote computational center (remote server, cloud services) (see Fig. 3.2.). The sensor measurement nodes are also used to implement this type of system (one node per hive), where the nodes have WiFi modules (like *ESP8266*). A wireless router needs to be setup near the apiary to ensure successful data transfer. In such way, each measurement node can send its data separately without the need of a main node. Functionality of a remote computational center remains as described previously.

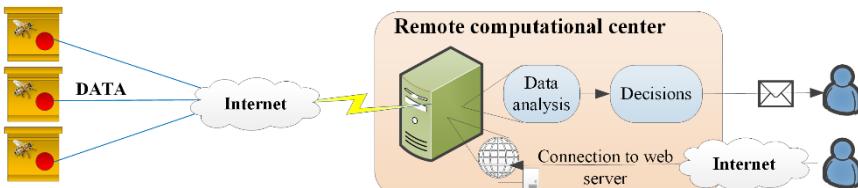


Fig. 3.2. Monitoring using IoT principles  
(Kviesis, Zacepins, 2015)

**System architecture that uses independent sensor nodes.** Data collected are not sent anywhere, but instead processed on the sensor/measurement node and only the decisions or the result of analysis is sent (via mobile network) to the beekeeper. Unlike the architectures described above – measurement nodes do not depend on any interface device (main node) or router that may interrupt the data transfer for all measurement nodes.

## 4. PRACTICAL IMPLEMENTATION OF MONITORING SYSTEMS

During PhD thesis development it was identified that practical implementation of monitoring systems must meet the main requirement – temperature data collection due to the fact that bees inside the hive perform thermoregulation actions (heating, ventilation). Therefore the life of bees inside the hive can be represented by temperature dynamics.

In general, monitoring systems include components, such as, sensors, sensor data collection, data transfer, data storing and analysis. During the development of PhD thesis, author developed two separate monitoring systems: wired and hybrid system.

### Wired monitoring system

Wired system in this context is considered as a system that does not use wireless technologies to send data to remote services. Instead sensors or sensor nodes are connected to transmission device (node) with wires.

Wired system (see Fig. 4.1.) was based on a *Raspberry Pi* single board computer, that monitored temperature inside beehives with *1-Wire* technology sensors (*DS18S20*).

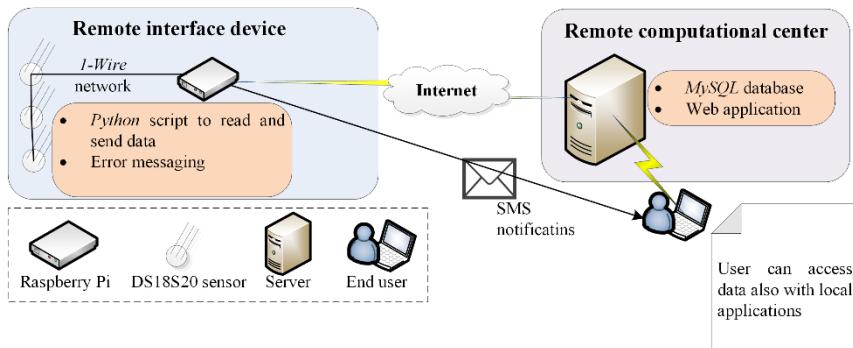


Fig. 4.1. Monitoring system based on *Raspberry Pi* as an interface device  
(Kviesis, Zacepins, 2015)

On *Raspberry Pi* a *Python* script was executed that did regular data acquisition and sending to the remote server. Data were stored on a *MySQL®* database that was set up on *Ubuntu 12.04 LTS*.

## Hybrid system – a combination of wired and wireless technologies

This system partially combines wired and wireless technologies. The idea was based on study of a particular situation – honey bee colony monitoring with option to view data remotely, although the internet connection at the apiary is unstable and in close range; usage of existing internet connection to view data and get notifications, without additional mobile data subscription plan; the monitoring system should be energy efficient; when possible, system should send notifications and alerts.

Hybrid system is based on architecture that uses interface device and WSN principles to collect data by forming star topology network. PhD author developed prototype measurement nodes that were used to collect multiple *1-Wire* sensor data and had a wireless data transfer functionality. Main node was based on *Odroid-C0* single board computer that receives incoming data and stores data in a local database. The *Odroid-C0* has enough power to perform data processing, necessary for DSS implementation. Additional main node's functionality includes notification and alert sending as soon as the device is connected to the internet, and the possibility to send data from local database to the remote computational center as well.

Particular hybrid system is cost-effective in cases, when several beehives are located close to each other, because then the sensors can be connected to only one measurement node. This system specifically emphasizes its advantages in a scenario when the location of interest does not have a stable internet connection, thus data can be stored locally and be available in a local network, since the main node is powerful enough to host a local web server. Hence, the hybrid system demonstrates the diversity of monitoring systems. The concept of the hybrid system is shown in Fig. 4.2.

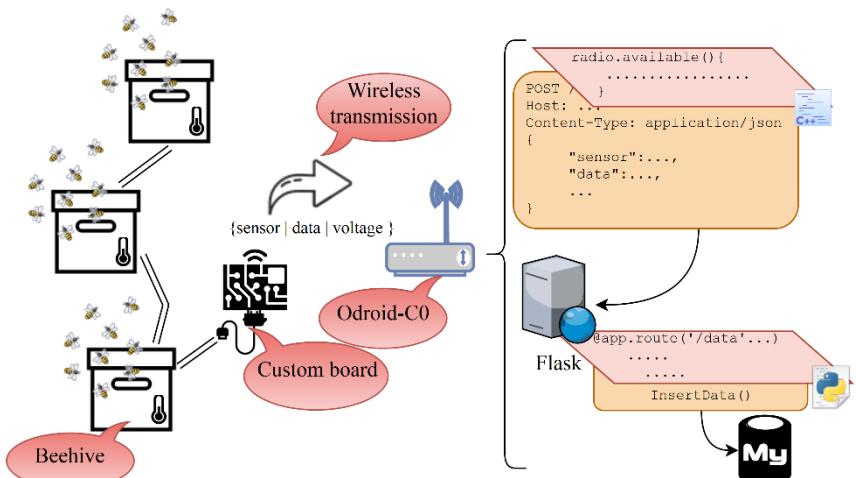


Fig. 4.2. Concept of implemented hybrid system

To view measurement data a local desktop application was developed in C# programming language. The application provided connection to specific databases, data selection by date periods, data graphical representation, basic statistical information, data export and other functionalities.

## **5. DEVELOPMENT OF DSS PROTOTYPE FOR HONEY BEE COLONY MANAGEMENT**

The proposed DSS is data, model and knowledge based. This chapter includes honey bee colony state detection rules definition that points to the necessity to analyze “active” data points, by applying mathematical models, and to use knowledge and trained models to identify different colony states.

### **Proposed DSS decision making concept**

According to the studies conducted, DSS concept was based on the most popular and more used decision making process in practice. During this PhD research it was concluded that too less attention is drawn towards the process following after alternative implementation, e.g., evaluation phase. There are sources (“7 Steps of the Decision-Making Process,” 2017; Elmansy, 2015; Kabaivanov, Markovska, Milev, 2013) that points to existence of such phase, but it is not highlighted enough. Therefore it was proposed to modify the decision making process concept with evaluation phase. During this phase the decision maker should be able to assess the choice made and identify potential problems – was the decision appropriate or is there a need to make colony state identification model improvements, or did the decision maker himself make the correct choice, or there are problems with analysis methods? Hence the user (decision maker) should provide a feedback, by informing the system developer or the decision maker should consider his mistake in making a decision. In a result the whole DSS decision making concept can be divided in system and user part, where Fig. 5.1. demonstrates one iteration of a decision making process.

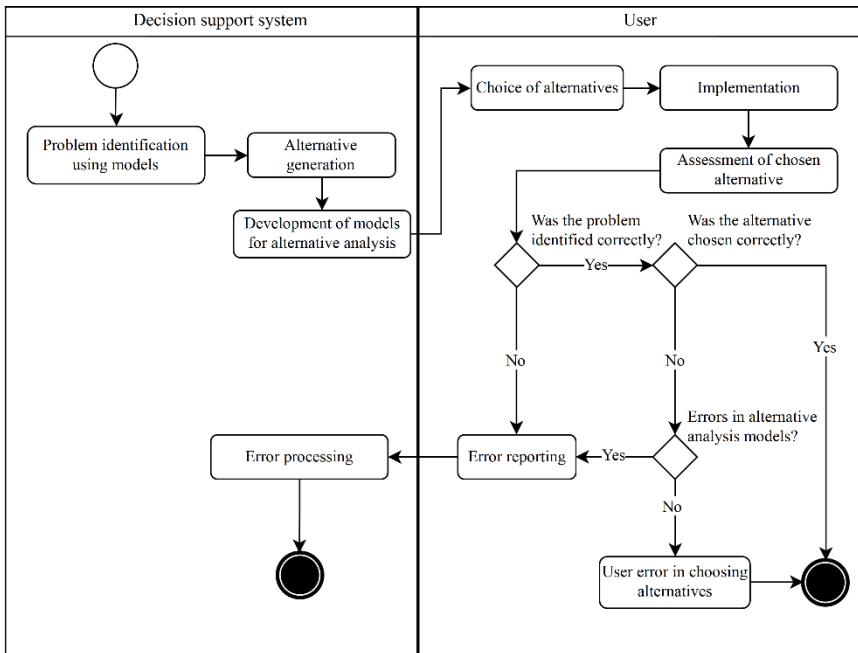


Fig. 5.1. Proposed concept of a DSS decision making process

Each of the decision making process element for beekeeping field can be described:

- 1) problem identification – this phase seeks to answer the following question: “who will be the decision maker, who will be the stakeholder?” In this context these persons are beekeepers where it should be noted that not every beekeeper is a specialist in information technologies. Hence the problem should be looked from the beekeeper’s stand point. It is important for the beekeeper to maintain the colonies (overwinter), to gain maximum production (therefore detection of brood rearing state, swarming and other states are essential). Since there are different honey bee colony states that can have an impact on beekeeper’s financial situation, then several models should be developed in order to identify those states;
- 2) alternative generation – every detected state is analyzed and necessary actions are determined: when to go to the apiary, when to do nothing. So basically these two are the main alternatives the beekeeper can choose from. Hence, the alternatives given specific states could be:

- honey bee colony death – beekeeper should go to the apiary (based on the traveling costs, the beekeeper can delay this action); additional costs should be considered regarding buying new honey bee colonies;
  - normal state – do nothing;
  - swarming – beekeeper should go to the apiary to catch the swarm (also depending on the travel costs and needed time);
  - unknown state – beekeeper should go to the apiary;
- 3) usage of different models – by using various methods models should be developed to analyze possible alternatives;
- 4) choice – beekeeper chooses the alternative that fits the best;
- 5) assessment of the decision made – decision maker evaluates if the problem was identified correctly, was the alternative appropriate, did he make the best choice.

### Architecture of the developed honey bee colony management system

The architecture can be divided into 4 main parts (see Fig. 5.2.): data collection devices (measurement nodes), database, DSS and users.

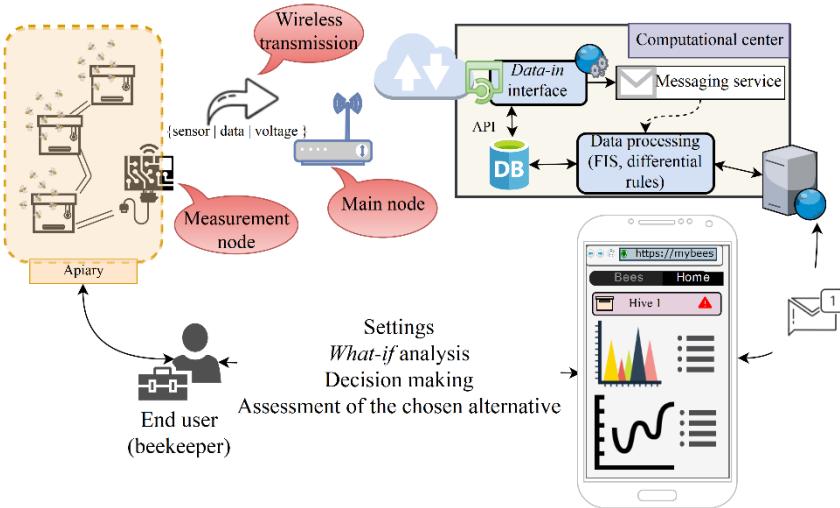


Fig. 5.2. Honey bee colony management system's architecture

Measurement nodes collect data and send it to the main node (interface device), where the main node transfers data to a remote server via appropriate interface. On the remote server side, data are inserted into database and a specific

messaging service “informs” data processing block that involves DSS. Data collection and processing are two separate modules.

Honey bee colony states are identified by applying fuzzy inference system with additional state processing block (to better distinguish colony states) (see Fig. 5.3.).

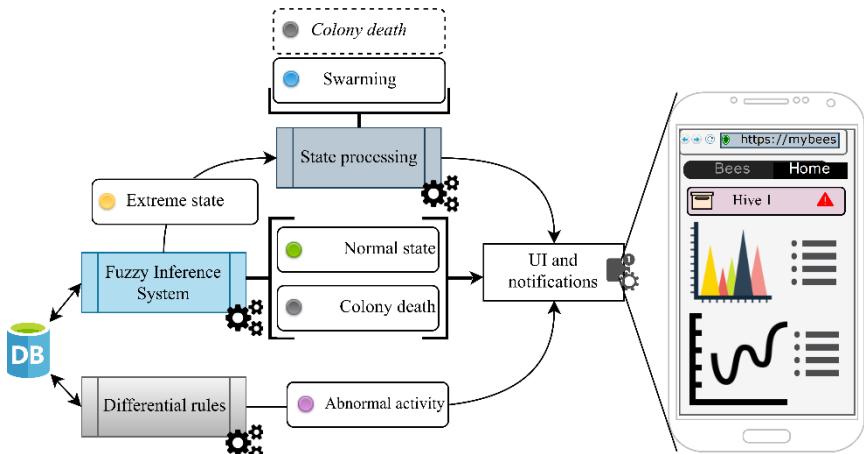


Fig. 5.3. Representation of a honey bee colony state identification process

### DSS knowledge base and rule definition

During the PhD development it was proposed to define and implement a fuzzy logic rule based subsystem. The behavior of bees is nonlinear therefore FIS was chosen to identify honey bee colony states. According to (Sabri et al., 2013) fuzzy logic modeling gives distinctive advantages compared to traditional mathematical modeling methods. Therefore two groups of rules were defined:

- differential – compares temperatures between individual colony and the average of the whole apiary;
- individual (controlled by fuzzy logic):
  - honey bee colony death;
  - normal;
  - extreme {swarming; colony death; unknown (diseases, CCD etc.)}.

It should be noted, that based on the information given by the DSS the beekeeper is still the main decision maker.

## **Applying FIS to identify honey bee colony states**

A Mamdani type FIS was developed as a subsystem for DSS. Practical implementation was done using Java programming language and *jFuzzyLogic* (Cingolani, Alcalá-Fdez, 2012; Cingolani, Alcalá-Fdez, 2013) library.

Five input parameters were defined: temperature inside the hive, ambient temperature, temperature difference between temperature inside the hive and ambient temperature, month of the year, temperature difference within one hive. The output of the FIS was defined by 3 membership functions (states) – death of a bee colony, normal, extreme. Since the output of the FIS is a crisp value, then in this context the output was considered and interpreted as “confidence of colony’s healthiness”.

It should be noted that “honey bee colony’s death” can also be included in the state “extreme”, since there are seasons where it is not that clear to detect colony’s death by only looking at temperature data. However “extreme” state can also point to swarming or other abnormalities, like high temperatures during winter that could indicate some disease or early brood rearing period.

Based on defined data set that characterizes different temperature dynamics in different seasons a rule set was defined for FIS. The creation of the rule set was based on ID3 (*Iterative Dichotomiser 3*) algorithm. This method allows to identify the root node of the decision tree, where the root node is the parameter that has the highest information capacity.

### **FIS validation and evaluation**

Developed FIS was validated with historical honey bee colony in-hive temperature data. In total 90 data sets (consisting of approximately 185000 individual data points – measurements) were selected based on observation of historical data. Data sets included temperature data when bees were in normal state, swarming or the colony died or abnormalities were detected. Since there are possibility that a single measurement point can be faulty (bees can heat the sensor by “sitting” on it or there is a technical reason) median value was taken from the last 5 measurements.

It was observed that after the development and tuning, the FIS could detect all 20 swarming cases where Fig. 5.4 represents one such case.

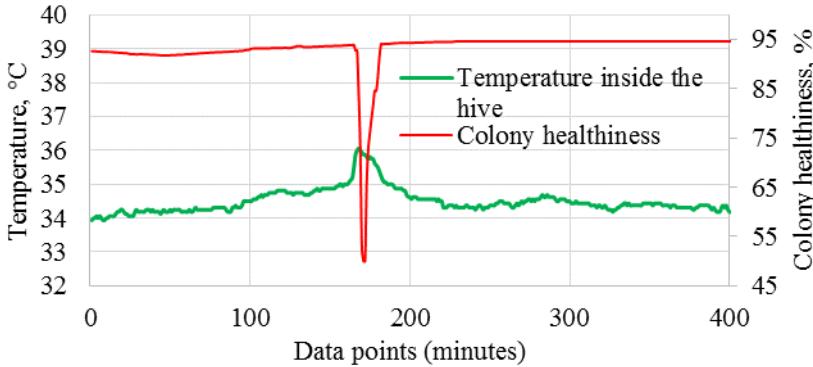


Fig. 5.4. Successful swarming detection by FIS

Validation data set included data about honey bee colony during winter season where the colony was mostly in normal state, but with some exceptions when temperature spikes were observed (temperature increased by 10°C). All these cases were successfully identified by the FIS, signaling that the colony is in “extreme” state. Those spikes pointed to some stressful factors.

Regarding honey bee colony death, the system was able to point to some instabilities in temperature data (see Fig. 5.5.). As the figure shows, the temperature tended to decrease until it started to resemble the ambient temperature curve. The FIS warned that the colony are in the extreme state quite early and showed that the colony died (confidence of healthiness under 40%), when the temperature was almost identical to the ambient temperature.

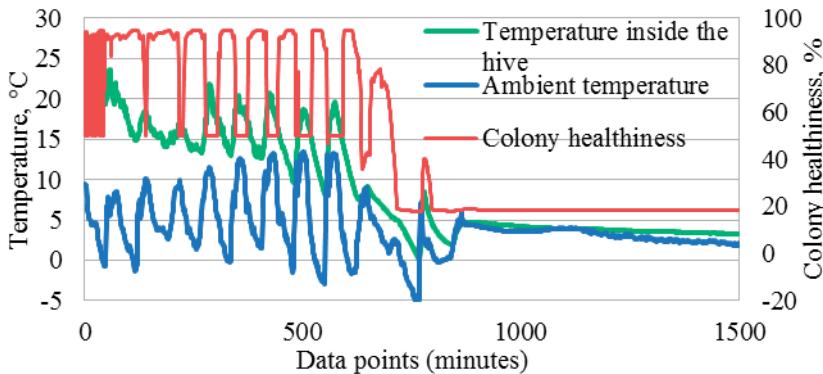


Fig. 5.5. Identification of possible colony death

The data set also included cases when the temperature was too high during winter period, indicating the possible start of brood rearing. Such a situation puts

the colony at risk, because at the beginning of spring there could be no food left. FIS did recognize these situations correctly.

### **The evaluation of FIS with confusion matrix**

FIS performance was evaluated using confusion matrix that uses 4 different value combinations (Joshi, 2016; Narkhede, 2018): true positive, true negative, false positive, false negative. Also the model performance was calculated by determining accuracy, recall, precision, specificity and F1 score.

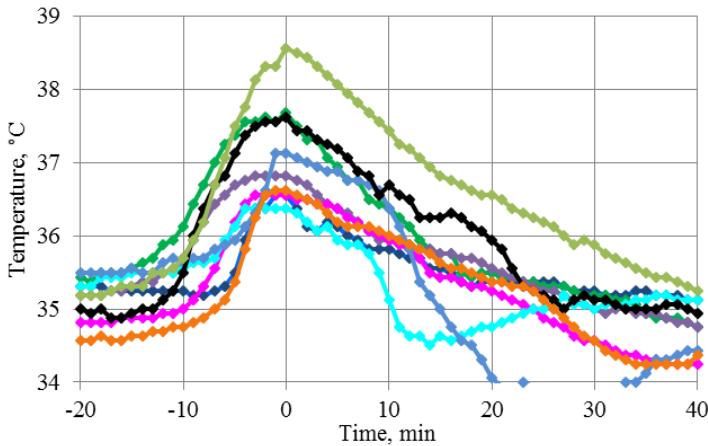
As a result the FIS showed an accuracy value of ~98%, 100% precision and specificity, ~97% recall and ~98% F1 score. The performance evaluation proves that the FIS operates in a correct and stable manner identifying changes in honey bee colony state.

### **Automatic swarming identification**

Experiments were carried out during the period of May 1 till 31 August 2015 in order to monitor 10 honey bee colonies. The experiment took place at Strazdu iela 1, Jelgava, Latvia. Temperature data were collected every 60 seconds. During this period beekeepers took notes of observed bee behavior.

During this experiment several swarming events were observed. By comparing beekeeper's notes with the temperature data, it was concluded, that during swarming a specific temperature pattern exists.

Figure 5.6. represents temperature patterns during swarming. These patterns show that the swarming process does not exceed 20 minutes, hence, data collection time interval should be selected carefully (if data are collected, for example, each 20 minutes, the swarming could not be detected).



**Fig. 5.6. Temperature patterns during swarming**  
(Zacepins et al., 2016)

### Application of neural networks to identify swarming

Since there is a specific temperature pattern during swarming, it was considered to use neural networks (also due to author's previous knowledge) in order to identify this state. Two models, using different approaches, were developed.

#### Model 1 – individual time series data points as input parameters

This model consisted of 3 layers – input, hidden and output layer. A bias neuron (with value +1) was added to input and hidden layers, giving additional weights to the whole net (Kviesis, Zacepins, 2016). Each temperature data point in an hour interval was formed as an input parameter to the input layer, hence, measurement at each minute was considered as a feature. The input layer values were normalized, in order to get faster convergence of the back-propagation algorithm (LeCun et al., 2012).

The constructed network was trained using stochastic principle and using Sigmoid as an activation function. Gradient descent was used to minimize the error. Described neural network was built using *C#* programming language.

#### Model 2 – features of a curve as input parameters

This model uses input values that characterizes the temperature curve: standard deviation, variance, kurtosis, skew. The model was built using *Tensorflow* framework and *Keras* library.

Neural network was based on *Sequential* type model that consists of stacked linear layers. This network besides input and output layers had also two hidden layers with 18 and 12 neurons. Each hidden layer uses rectified linear unit (*relu*) activation function, but output layer uses Sigmoid that returns value between [0;1] and is suitable for classification cases when probability is expected as output value (A. Sharma, 2017; S. Sharma, 2017).

The constructed neural network model was compiled using *binary\_crossentropy* loss function and *Adam* optimization algorithm. Training included 150 iterations with batch size 10. During training process a validation data set was used to ensure that this model is not trained only for the test data set.

Both developed networks were tested on historical data to evaluate performance. In total neural networks were validated over 90000 data sets. Performance evaluation included usage of the confusion matrix. Results of performance evaluation are represented in Table 5.1.

**Table 5.1. Evaluation of swarming identification models**

Model #	Accuracy, %	Precision, %	Recall, %	Specificity, %	F1, %
1	100	100	~82	100	~90
2	100	~91	100	100	<b>~95</b>

Based on results, Model 2 was found as the most suitable to include in DSS.

### **Analysis of alternatives**

Alternative analysis in beekeeping domain includes two options: going to the apiary; doing nothing. If the state of a honey bee colony is normal, beekeeper is suggested to do nothing, because there is no need to disturb the bees. On the other hand, if the state identified is unknown or colony died, the beekeeper should go to check on the colony. By doing that, the beekeeper should take into account some expenses that may occur – costs of a new colony (usually around 90 – 120 EUR) and/or new hive (in case of some disease).

If swarming occurred, a detailed analysis can be performed that could ease the alternative choice for the beekeeper. This analysis includes financial calculations. Therefore the beekeeper can consider if it is worth to go to the apiary to catch the swarm.

There are several parameters that need to be considered to: location of the apiary, travel costs, fuel price, fuel efficiency, time, persons involved, wage per hour etc.

To calculate the travel costs to the apiary one can use mathematical equation given below (1):

$$C_a = (dist * C_{pkm}) + (t_{total} * \sum_{i=1}^n w_i) \quad (5)$$

where:

$C_a$  – total travel costs, EUR;

dist – distance to the apiary, km;

$C_{pkm}$  – costs per km, EUR/km;

$t_{total}$  – total time (including traveling and time to catch the swarm), h;

$w_i$  – person's wage per hour, EUR/h;

n – person count.

However more factors need to be considered to get the total cost the swarm can cause. Those factors include average honey volume per colony, honey loss, value of a swarm, honey price etc.

The value of a swarm can be estimated by literature study (typically 21 – 43 EUR according to (Mizis, 2003)) or theoretically calculate the swarm value by taking into account price per bee where (“So what does the average honey bee cost?,” 2011) shows a possible calculation of the value of one bee.

### **Swarm value estimation by taking into account price of bee**

Size of a swarm can be estimated by taking into account the percentage of bees that leave the hive. According to (Rangel, Seeley, 2012) research it is about 75%.

The swarm size can be converted into a monetary value by (2):

$$S_{val} = S_{size} * P_{bee} + P_{queen} \quad (6)$$

where:

$S_{val}$  – swarm value, EUR;

$S_{size}$  – number of bees in the swarm;

$P_{bee}$  – price per bee, EUR;

$P_{queen}$  – value of bee queen, EUR.

The honey loss and honey price should also be considered, forming the total costs per swarm (3):

$$S_{cost} = S_{val} + (P_{honey} * L_{honey}) \quad (7)$$

where:

- $S_{cost}$  – swarm costs, EUR;
- $S_{val}$  – swarm value, EUR;
- $P_{honey}$  – honey price per kg, EUR/kg;
- $L_{honey}$  – honey loss, kg.

However, if the apiary is located in some remote locations travel costs should also be included. Therefore, the benefit ( $B_{nf}$ ) of catching a swarm can be calculated by (4):

$$B_{nf} = S_{cost} - C_a \quad (8)$$

Described alternative analysis is currently implemented by PhD author within project SAMS web system <https://sams.science.itf.llu.lv/swarm-economy>.

By taking into account the information given by the DSS, beekeeper can make a choice when specific situations occur. If the state of a bee colony is unknown, the beekeeper should consider if it is worth to travel the distance to check on the colony.

The implementation of a chosen alternative is the beekeeper's action in a particular case. Regarding the DSS's user interface, that lets the beekeeper to see the overall status of his colonies, local desktop and web applications were developed.

The first DSS version was developed as a local desktop application by the author of PhD thesis (see Fig. 5.7.). The application visually informed the beekeeper about the situation in his apiary by color codes: black – possible death of a colony, green – possible start of a brood rearing period, red – colony needs inspection.

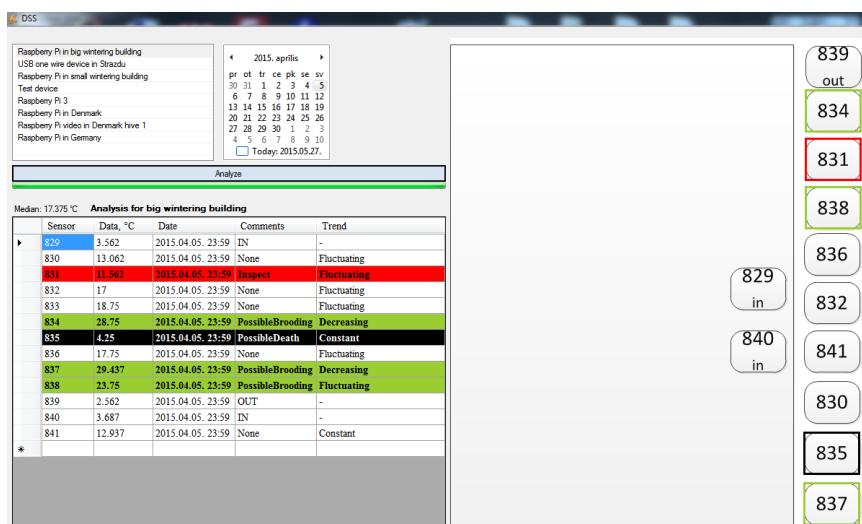


Fig. 5.7. Example of a DSS user interface

PhD author also implemented the DSS prototype into a web system (<https://bites.science.itf.llu.lv/#dss>). If a colony needed inspection it was represented like in Fig. 5.8.



Fig. 5.8. Notification about necessity to inspect colony

In case of a possible death of a colony a warning was shown (see Fig. 5.9.).



Fig. 5.9. Notification about possible colony death

The web application also provided information about possible swarming in the last hour (see Fig. 5.10.).

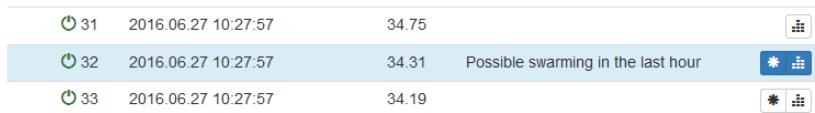


Fig. 5.10. Notification about possible swarming event

As it can be seen, the UI does not contain any complicated elements, but gives the beekeeper understandable information.

### Assessment of the chosen alternative

As mentioned before, this is the phase that is not highlighted enough. After the user has made his choice and took action (implemented the alternative), he should also draw conclusions. This step should be considered as a performance feedback, partly – testing. If the problem was incorrectly identified, hence, the bee colony's state was not recognized, models should be updated with new training data, new information, knowledge to improve them.

User, in this case, beekeeper should also evaluate the methods used in alternative analysis, in case these methods should be supplemented with additional parameters, like, weather data or other information that has not yet been clarified. User should also evaluate his own choice, decision made in the particular situation.

## Potential applications and improvements of the DSS prototype

The honey bee colony management methods (technologies, knowledge base processing etc.) described can also be applied to other fields. As example, several international scientific projects can be mentioned.

International ERA-Net SUSAN project PigSys includes activities related to the development of a DSS, where the methodology described in this thesis can be applied to pig production. Data obtained from video cameras about pig behavior inside the pen, could be processed using fuzzy inference system to identify abnormalities in pig behavior – to detect if the biological object, in this case, pig, sleeps too much, how many food or water is consumed etc.

DSS demonstrated in this thesis is considered as an improvement in the Horizon 2020 project SAMS. This project also highlights the advantages of using FIS – the weather in Ethiopia and Indonesia is completely different than in Europe, therefore FIS eases the way of populating or modifying the knowledge base with more rules or adding more input parameters (e.g., location).

Project HIVEOPOLIS (Horizon 2020 project) once again confirms that precision beekeeping is still relevant and the results of the PhD research carried out can be applied/adapted in this project as well.

Data storing and processing can be mentioned as one of the crucial improvements. The usage of data warehouse, currently testing in PigSys and SAMS, shows promising results regarding data organizing and report generating. The concept of data warehouse is shown in Fig. 5.11.

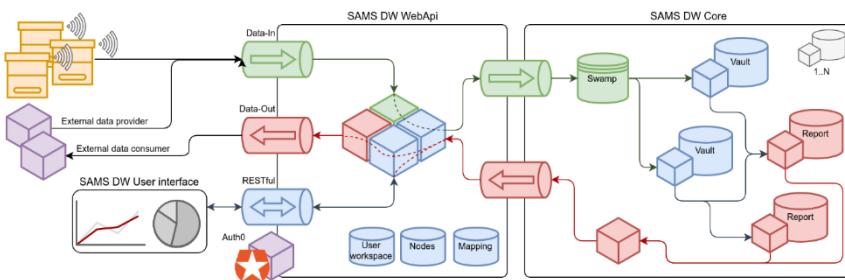


Fig. 5.11. Concept of data warehouse for data processing  
(Komasilovs et al., 2019)

Interesting data storing concept is presented by (Parikh, Stirman, 2013), where time series data is stored in a *NoSQL* database *MongoDB* applying document-oriented design. Such approach was also considered regarding the storage unit inside the data warehouse.

# CONCLUSIONS

## Main results

- 1) *Decision support system and its realization options regarding biological system control has been analyzed.*

Decision support system is based on 5 main components – data management system, model management system, knowledge base, user interface, users. The efficiency of DSS decreases if the role of the user has not been taken into account or the user interface is complex, non-intuitive. DSS has several types depending on the dominant component.

There are around seven steps that forms the decision making process (problem identification and definition, alternative generation, model development, alternative analysis and choice, implementation) and are applicable to the field of beekeeping. The implementation phase is beekeeper's action, when the colony is in a particular state. The author of PhD thesis believes that the assessment of the implemented alternative is not highlighted enough. As a result author proposed a modified decision making process concept, separating the evaluation phase.

Fuzzy inference system is an effective mechanism, which is often used in DSS for knowledge processing, providing significant advantages.

- 2) *Solution for automated biological system monitoring was developed.*

Data collection requires automated system, that can preform continuous monitoring on the object of interest. Author of this thesis proposed a variety of monitoring system architectures for multi-object biological system monitoring. An algorithm was developed that could help to chose the appropriate architecture. Two different (wired and combination of wired and wireless (hybrid)) monitoring systems were developed based on the research about architectures and technologies involved. Hybrid system is a special case solution, that demonstrates the diversity of monitoring systems.

- 3) *Automated decision support system's prototype for biological system control was developed.*

Based on conducted scientific studies, a DSS prototype was developed. The DSS is data, model and knowledge driven. Knowledge base is processed with fuzzy inference system that has several input parameters regarding temperature inside the hive, outside the hive, month of the year and temperature dynamics. As output FIS provides a crisp value that is interpreted as a confidence of honey

bee colony healthiness. If the FIS detects extreme state, a special state processing block is activated to distinguish swarming.

- 4) Developed decision support system's prototype was experimentally evaluated in order to recognize various honey bee colony states.

The developed DSS prototype's knowledge processing block was validated against data sets that included different colony states. Performance of FIS and neural networks (swarming detection) was evaluated separately. To analyze alternatives potential mathematical models were proposed.

The developed monitoring system and DSS prototype was first implemented within the international scientific project ITAPIC.

User interface was developed to show the overall status of the apiary, where user can apply *what-if* analysis and observe the result of differential rules.

Experimental evaluation of DSS implementation phase is affected by season changes, e.g., specific colony state that can't be predicted, to perform repeatability and analyze the impact of the action taken.

### **Conclusions and development prospects**

- 1) Although there are no information about complete DSS application in the field of beekeeping for colony state identification, the DSS is applicable to this field;
- 2) several significantly important honey bee colony states can be identified by only using temperature data;
- 3) hybrid system expands wired and wireless system advantages and minimizes some of their disadvantages;
- 4) fuzzy inference system as a subsystem of DSS provides convenient way of populating and modifying the knowledge base. Developed FIS showed promising results in colony state identification: ~98% accuracy, 100% precision and specificity, ~97% recall and ~98% F1 score;
- 5) to automatically identify swarming two neural network models were developed. Better results were achieved by neural network developed with *Tensorflow* framework: ~100% accuracy, ~91% precision, ~100% recall, ~95% F1 score;
- 6) different methods (Pearson, Spearman, Kendall correlation) can be combined to detect honey bee colonies death. Such approach demonstrated promising results;
- 7) developed mathematical models for alternative analysis allow to evaluate the performance of activities in certain situations;

- 8) analysis of alternatives has shown a significant impact on the effectiveness of monitoring systems, as additional costs can be avoided by early detecting changes in colony states.

Future **development prospects** include:

- 1) adapting the developed DSS within the various international projects (SAMS, PigSys, HIVEOPOLIS) to monitor different biological objects (honey bees, pigs);
- 2) improvements regarding data storing and organizing with data warehouse;
- 3) monitoring system upgrades, including additional sensor installation (humidity, weight, sound);
- 4) improvements regarding FIS input parameters and rule base, by taking into account different parameters (humidity, weight, sound data) in different regions.

## LITERATŪRAS SARAKSTS

### BIBLIOGRAPHY

1. *7 Steps of the Decision-Making Process.* (2017). [online] [accessed 10.10.2018]. Available at: <https://www.lucidchart.com/blog/decision-making-process-steps>.
2. Ahmed, M., Westin, J., Nyholm, D., Dougherty, M., Groth, T. (2006). A fuzzy rule-based decision support system for Duodopa treatment in Parkinson. In *23rd annual workshop of the Swedish Artificial Intelligence Society, Umeå, May, 2006*.
3. Al Toufailia, H., Ratnieks, F. L. W. (2018). Towards integrated control of varroa: 5) monitoring honey bee brood rearing in winter, and the proportion of varroa in small patches of sealed brood cells. *Journal of Apicultural Research*, 57(3), 444–451.
4. Alonso, S. K. (2015a). *FIS INTRODUCTION*. [online] [accessed 10.10.2018]. Available at: [http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica\\_borrosa/web/fuzzy\\_inferencia/introfis\\_en.htm](http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/fuzzy_inferencia/introfis_en.htm).
5. Alonso, S. K. (2015b). *FUZZY OPERATORS*. [online] [accessed 10.10.2018]. Available at: [http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica\\_borrosa/web/fuzzy\\_inferencia/fuzzyop\\_en.htm](http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/fuzzy_inferencia/fuzzyop_en.htm).
6. Alonso, S. K. (2015c). *MEMBERSHIP FUNCTIONS*. [online] [accessed 10.10.2018]. Available at: [http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica\\_borrosa/web/fuzzy\\_inferencia/funpert\\_en.htm](http://www.dma.fi.upm.es/recursos/aplicaciones/logica_borrosa/web/fuzzy_inferencia/funpert_en.htm).
7. Alter, S. L. (1980). Decision Support Systems: Current Practice and Continuing Challenges. Reading, Mass: Addison-Wesley.
8. Altun, A. A. (2012). Remote Control of the Temperature-Humidity and Climate in the Beehives with Solar-Powered Thermoelectric System. *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, 14(1), 93–99.
9. Ambrosiadou, B. V, Goulis, D. G., Pappas, C. (1996). Clinical evaluation of the DIABETES expert system for decision support by multiple regimen insulin dose adjustment. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 49(1), 105–115.
10. *Ar bitēm nekad neko nevar zināt....* (2014). [online] [accessed 12.10.2018]. Available at: <https://www.lsm.lv/raksts/zinas/latvija/ar-bitēm-nekad-neko-nevar-zinat.a98202/>.
11. *Arduino - Home.* (n.d.). [online] [accessed 18.05.2014]. Available at: <http://arduino.cc/>.
12. *Arduino Low Power - How To Run Atmega328P for a Year on Coin Cell Battery.* (2015). [online] [accessed 05.02.2017]. Available at:

- <http://www.home-automation-community.com/arduino-low-power-how-to-run-atmega328p-for-a-year-on-coin-cell-battery/>.
13. *Arduino Power Consumption Normal & Sleep.* (2013). [online] [accessed 05.02.2017]. Available at: <https://www.gadgetmakersblog.com/arduino-power-consumption/>.
  14. Aronson, J., Liang, T., Turban, E. (2005). Decision support systems and intelligent systems. *Yoyakarta: Andi*, 24.
  15. *ARS Honey Bee Health and Colony Collapse Disorder.* (2016). [online] [accessed 02.06.2017]. Available at: <https://www.ars.usda.gov/oc/br/ccd/index/>.
  16. Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., Townsley, W. (2016). A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things. *Sensors*, 16(9), 1466.
  17. AZoSensors. (2014). *An Introduction to Silicon Bandgap Temperature Sensors.* [online] [accessed 01.06.2017]. Available at: <https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=369>.
  18. Bai, Y., Wang, D. (2006). Fundamentals of fuzzy logic control—fuzzy sets, fuzzy rules and defuzzifications. In *Advanced Fuzzy Logic Technologies in Industrial Applications* (pp. 17–36). Springer.
  19. Baron, L., Achiche, S., Balazinski, M. (2001). Fuzzy decision support system knowledge base generation using a genetic algorithm. *International Journal of Approximate Reasoning*, 28(2), 125–148.
  20. Bassford, M., Painter, B. (2016). Intelligent Bio-Environments: Exploring Fuzzy Logic Approaches to the Honeybee Crisis. In *Intelligent Environments (IE), 2016 12th International Conference on* (pp. 202–205).
  21. Becker, D. (n.d.). *Rectified Linear Units (ReLU) in Deep Learning.* [online] [accessed 23.03.2018]. Available at: <https://www.kaggle.com/dansbecker/rectified-linear-units-relu-in-deep-learning>.
  22. Beebot. (n.d.). [online] [accessed 05.05.2018]. Available at: <https://pollenity.com/product/beebot/>.
  23. Bencsik, M., Bencsik, J., 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*, 76(1), 44–50.
  24. Bezdek, J. (1993). Fuzzy models—What are they, and why? [Editorial]. *Fuzzy Systems, IEEE Transactions On*, 1, 1–6. <http://doi.org/10.1109/TFUZZ.1993.6027269>
  25. Biological system. (n.d.). [online] [accessed 05.05.2018]. Available at: <https://www.semanticscholar.org/topic/Biological-system/15492>.
  26. Bishop, C. M. (1995). *Neural networks for pattern recognition*. Oxford university press.
  27. Bohanec, M., Rajković, V. (1990). DEX: An expert system shell for

- decision support. *Sistemica*, 1(1), 145–157.
- 28. Brooks, R. A. (1991). Intelligence without reason. *Artificial Intelligence: Critical Concepts*, 3, 107–163.
  - 29. Bruen, M. (2006). Introduction to decision support systems. In *River basin modelling for flood risk mitigation* (pp. 235–248). London: Taylor & Francis.
  - 30. Brusbārdis, V. (2014). BIŠU SAIMES PIEBAROŠANA.
  - 31. Buchmann, S. L., Thoenes, S. C. (1990). The electronic scale honey bee colony as a management and research tool. *Bee Science*, 1(1), 40–47.
  - 32. BuzzBox. (n.d.). [online] [accessed 05.05.2018]. Available at: <https://www.osbeehives.com/>.
  - 33. Carl. (2009). *PIC 'n the Beehive*. [online] [accessed 18.05.2014]. Available at: <http://kurskelectronic.ru/lifesys/collegs/PIC-the-Beehive.pdf>.
  - 34. Cingolani, P., Alcalá-Fdez, J. (2012). jFuzzyLogic: a robust and flexible Fuzzy-Logic inference system language implementation. In *Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), 2012 IEEE International Conference on* (pp. 1–8).
  - 35. Cingolani, P., Alcalá-Fdez, J. (2013). jFuzzyLogic: a java library to design fuzzy logic controllers according to the standard for fuzzy control programming. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 6(sup1), 61–75.
  - 36. Citro, G., Banks, G., Cooper, G. (1997). INKBLOT: a neurological diagnostic decision support system integrating causal and anatomical knowledge. *Artificial Intelligence in Medicine*, 10(3), 257–267.
  - 37. Colony Collapse Disorder. (2013). [online] [accessed 18.05.2014]. Available at: <https://www.epa.gov/pollinator-protection/colony-collapse-disorder>.
  - 38. Compare DHT22, DHT11 and Sensirion SHT71. (2017). [online] [accessed 05.02.2017]. Available at: [https://www.kandrsmit.org/RJS/Misc/Hygrometers/calib\\_dht22\\_dht11\\_sht71.html](https://www.kandrsmit.org/RJS/Misc/Hygrometers/calib_dht22_dht11_sht71.html).
  - 39. Conradt, L., Roper, T. J. (2005). Consensus decision making in animals. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(8), 449–456.
  - 40. Correlation (Pearson, Kendall, Spearman). (n.d.). [online] [accessed 15.01.2018]. Available at: [https://www.statisticssolutions.com/correlation-pearsong-kendall-spearman/](https://www.statisticssolutions.com/correlation-pearson-kendall-spearman/).
  - 41. Cox, C. E., White, D. B., Abernethy, A. P. (2014). A universal decision support system. Addressing the decision-making needs of patients, families, and clinicians in the setting of critical illness. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 190(4), 366–373.
  - 42. Decision Matrix Analysis. (2016). [online] [accessed 03.06.2018]. Available at: [https://www.mindtools.com/pages/article/newTED\\_03.htm](https://www.mindtools.com/pages/article/newTED_03.htm).
  - 43. Delaplane, K. S. (n.d.). *On Einstein, Bees, and Survival of the Human Race*.
  - 44. Desanctis, G., Gallupe, R. B. (1987). A foundation for the study of group

- decision support systems. *Management Science*, 33(5), 589–609.
- 45. *DHT22 temperature-humidity sensor + extras*. (n.d.). [online] [accessed 01.06.2017]. Available at: <https://www.adafruit.com/product/385>.
  - 46. Dooge, J. (1973). *Linear theory of hydrologic systems*. Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.
  - 47. Druzdzel, M. J., Flynn, R. R. (2002). Decision Support Systems, 1–15.
  - 48. Dubois, D., Hájek, P., Prade, H. (2000). Knowledge-driven versus data-driven logics. *Journal of Logic, Language and Information*, 9(1), 65–89.
  - 49. Dudai, Y. (2004). The neurobiology of consolidations, or, how stable is the engram? *Annu. Rev. Psychol.*, 55, 51–86.
  - 50. Edwards-Murphy, F., Magno, M., Whelan, P. M., O'Halloran, J., Popovici, E. M. (2016). b+ WSN: Smart beehive with preliminary decision tree analysis for agriculture and honey bee health monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 211–219.
  - 51. Eglīte, I. (n.d.). *Bisu parazitārās slimības*. [online] [accessed 03.06.2018]. Available at: <http://www.strops.lv/index.php/raksti/slimibas-un-kaitekli/29-bisu-parazitaras-slimibas>.
  - 52. Elmansy, R. (2015). *The Decision-Making Process Designers Should Use Daily*. [online] [accessed 10.10.2018]. Available at: <https://www.designorate.com/decision-making-process/>.
  - 53. Engelmore, R. S., Feigenbaum, E. (1993). *EXPERT SYSTEMS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE*. [online] [accessed 08.03.2018]. Available at: [http://www.wtec.org/loyola/kb/c1\\_s1.htm](http://www.wtec.org/loyola/kb/c1_s1.htm).
  - 54. ESP8266EX Datasheet. (2015). Retrieved from [https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471/0A-ESP8266\\_Datasheet\\_EN\\_v4.3.pdf](https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/2471/0A-ESP8266_Datasheet_EN_v4.3.pdf)
  - 55. Farias, O., Labidi, S., Neto, J. F., Moura, J., Albuquerque, S. (2009). A Real Time Expert System For Decision Making in Rotary Railcar Dumpers. In *Automation Control-Theory and Practice*. InTech.
  - 56. Feigenbaum, E. A., McCorduck, P. (1983). The fifth generation: Artificial intelligence and Japan's challenge to the world. In : Addison Wesley.
  - 57. Felsberger, A., Oberegger, B., Reiner, G. (2016). A Review of Decision Support Systems for Manufacturing Systems. In *SAMI@ iKNOW*.
  - 58. 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*, 64(1), 72–77.
  - 59. *Field Wiring and Noise Considerations for Analog Signals*. (2018). [online] [accessed 05.11.2018]. Available at: <http://www.ni.com/white-paper/3344/en/#top>.
  - 60. *Foreword*. (2010). [online] [accessed 01.02.2018]. Available at: <http://flask.pocoo.org/docs/1.0/foreword/>.
  - 61. Forster, I. W. (1969). Swarm control in honey bee colonies. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 12(3), 605–610.

62. Frazier, J. L., Zhu, W. (2013). *FINAL REPORT TO THE NATIONAL HONEY BOARD*. Retrieved from [https://www.honey.com/files/general/Frazier\\_Decision\\_Support\\_SystemPR2013-09.pdf](https://www.honey.com/files/general/Frazier_Decision_Support_SystemPR2013-09.pdf)
63. Fülöp, J. (2005). Introduction to decision making methods. *Laboratory of Operations Research and Decision Systems, Computer and Automation Institute, Hungarian Academy of Sciences*, 1.
64. *Fuzzy Inference Systems*. (2002). [online] [accessed 02.09.2018]. Available at: <https://edoras.sdsu.edu/doc/matlab/toolbox/fuzzy/fuzzytu6.html>.
65. *Fuzzy Logic - Inference System*. (2018). [online] [accessed 02.09.2018]. Available at: [https://www.tutorialspoint.com/fuzzy\\_logic/fuzzy\\_logic\\_inference\\_system.htm](https://www.tutorialspoint.com/fuzzy_logic/fuzzy_logic_inference_system.htm).
66. *Fuzzy rule-based systems*. (2014). [online] [accessed 02.09.2018]. Available at: <http://www.data-machine.com/fuzzy1.htm>.
67. Galipalli, A. K., Madyala, H. J. (2012). Process to Build an Efficient Decision Support System.
68. Gammon, N. (2012). *Power saving techniques for microprocessors*. [online] [accessed 05.02.2017]. Available at: <http://www.gammon.com.au/power>.
69. Gebus, S., Technica, C. (2006). Knowledge-based decision support systems for production optimization and quality improvement in the electronics industry.
70. Georgiou, O., Raza, U. (2017). Low power wide area network analysis: Can LoRa scale? *IEEE Wireless Communications Letters*, 6(2), 162–165.
71. *Get Started with TensorFlow*. (n.d.). [online] [accessed 12.10.2017]. Available at: <https://www.tensorflow.org/tutorials/>.
72. *Guidelines for Reliable Long Line 1-Wire Networks*. (2008). [online] [accessed 01.06.2017]. Available at: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/148>.
73. Guillaume, S., Charnomordic, B. (2012). Fuzzy inference systems: An integrated modeling environment for collaboration between expert knowledge and data using FisPro. *Expert Systems with Applications*, 39(10), 8744–8755.
74. Gulbis, G., Dorbe, A. (2013). Lauksaimniecības zinātne veiksmīgai saimniekošanai. In *Lēmuma atbalsta sistēmu pielietojums integrētajā lauksaimniecībā* (pp. 203–204).
75. Hamarsheh, Q. (n.d.). Neural Networks and Fuzzy Logic, Lecture 18. Retrieved from [http://www.philadelphia.edu.jo/academics/qhamarsheh/uploads/Lecture\\_18\\_Different\\_Types\\_of\\_Membership\\_Functions\\_1.pdf](http://www.philadelphia.edu.jo/academics/qhamarsheh/uploads/Lecture_18_Different_Types_of_Membership_Functions_1.pdf)
76. Hansen, M. F., Smith, M. L., Smith, L. N., Jabbar, K. A., Forbes, D. (2018). Automated monitoring of dairy cow body condition, mobility and weight

- using a single 3D video capture device. *Computers in Industry*, 98, 14–22.
- 77. Hawamdeh, Z. M., Alshraideh, M. A., Al-Ajlouni, J. M., Salah, I. K., Holm, M. B., Otom, A. H. (2012). Development of a decision support system to predict physicians' rehabilitation protocols for patients with knee osteoarthritis. *International Journal of Rehabilitation Research*, 35(3), 214–219.
  - 78. HC-05-Bluetooth to Serial Port Module. (2010). Retrieved from <http://www.electronicaestudio.com/docs/istd016A.pdf>
  - 79. HC-05 Bluetooth Module. (n.d.). Retrieved from <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.772-148.1.pdf>
  - 80. Heinemann, P. H. (2010). Decision support system for food and agriculture. *System Analysis and Modelling in Food and Agriculture, Encyclopaedia of Life Support System (EOLSS)*.
  - 81. Hemmerling, T. M., Cirillo, F., Cyr, S. (2012). Decision Support Systems in Medicine-Anesthesia, Critical Care and Intensive Care Medicine. In *Decision Support Systems*. InTech.
  - 82. Holsapple, C. W. (2008). DSS architecture and types. In *Handbook on Decision Support Systems 1* (pp. 163–189). Springer.
  - 83. Honey bees. (2016). [online] [accessed 02.06.2017]. Available at: [https://ec.europa.eu/food/animals/live\\_animals/bees\\_en](https://ec.europa.eu/food/animals/live_animals/bees_en).
  - 84. How It Works. (2018). [online] [accessed 05.05.2018]. Available at: <https://docs.osbeehives.com/docs/how-it-works>.
  - 85. How to Use the DS2482 I<sup>2</sup>C 1-Wire® Master. (n.d.). [online] [accessed 02.06.2016]. Available at: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/3684>.
  - 86. Hudson, T. (2012). Iphone apidictor for acoustal beehive swarm detection. [online] [accessed 15.07.2015]. Available at: <http://www.instructables.com/id/iphone-apidictor-for-acoustal-beehive-swarm-detect/>.
  - 87. Iancu, I. (2012). A Mamdani type fuzzy logic controller. In *Fuzzy Logic Controls, Concepts, Theories and Applications*. InTech.
  - 88. Ingalkar, M. P. V., Deshmukh, A. B. (2014). ZigBee Wireless Sensor Network Technology.
  - 89. Internet of Things: Wireless Sensor Networks. (2014).
  - 90. Introduction to Flask. (n.d.). [online] [accessed 01.02.2018]. Available at: <https://pymbook.readthedocs.io/en/latest/flask.html>.
  - 91. Jaiswal, S. (2014). *Decision support systems and business intelligence*. [online] [accessed 05.05.2016]. Available at: <https://www.slideshare.net/shwetabhjaiswal/decision-support-systems-and-business-intelligence>.
  - 92. Jawad, H., Nordin, R., Gharghan, S., Jawad, A., Ismail, M. (2017). Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review. *Sensors*, 17(8), 1781.

93. Jones, J. W. et al. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18(3), 235–265.
94. Joshi, R. (2016). *Accuracy, Precision, Recall & F1 Score: Interpretation of Performance Measures*. [online] [accessed 12.09.2018]. Available at: <https://blog.exsilio.com/all/accuracy-precision-recall-f1-score-interpretation-of-performance-measures/>.
95. Juneja, P. (2018). *Analyzing Business Decision Making Process*. [online] [accessed 08.03.2018]. Available at: <https://www.managementstudyguide.com/analyzing-business-decision-making-process.htm>.
96. Kabaivanov, S., Markovska, V., Milev, M. (2013). Using real options analysis to support strategic management decisions (Vol. 1570). <http://doi.org/10.1063/1.4854746>
97. Kaķītis, A. (2008). *Neelektrisku lielumu elektriskā mērišana un sensori*. Jelgava: LLU Tehniskā fakultāte.
98. Karacapilidis, N. (2006). An overview of future challenges of decision support technologies. In *Intelligent Decision-making Support Systems* (pp. 385–399). Springer.
99. Keras. (n.d.). [online] [accessed 12.10.2018]. Available at: <https://www.tensorflow.org/guide/keras>.
100. Kingma, D. P., Ba, J. (2014). Adam: A method for stochastic optimization. *ArXiv Preprint ArXiv:1412.6980*.
101. Kleinrock, L. (1985). Distributed systems. *Communications of the ACM*, 28(11), 1200–1213.
102. Knight, D., Shamseldin, A. (2005). *River basin modelling for flood risk mitigation*. CRC Press.
103. Komasilovs, V., Kviesis, A., Zacepins, A., Bumanis, N. (2018). Development of the data warehouse architecture for processing and analysis of the raw pig production data. *AGROFOR International Journal*, 3(3), 64–71. <http://doi.org/10.7251/AGRENG1803064K>
104. Komasilovs, V., Sturm, B., Nasirahmadi, A., Zacepins, A., Kviesis, A. (2018). Solution for remote real-time visual expertise of agricultural objects. *Agronomy Research*, 16(2), 464–473.
105. Komasilovs, V., Zacepins, A., Kviesis, A., Fiedler, S., Kirchner, S. (2019). Modular sensory hardware and data processing solution for implementation of the precision beekeeping. *Agronomy Research*, 17(2), 509.–517.
106. Kompf, M. (n.d.). *Temperature measurement with the Raspberry Pi and the I-wire temperature sensor DS1820 (USB-serial)*. [online] [accessed 02.06.2016]. Available at: <https://www.mkompf.com/weather/pionewire.html>.
107. Kopetz, H. (2011). *Real-time systems: design principles for distributed embedded applications*. Springer Science & Business Media.
108. Kopetz, H., Damm, A., Koza, C., Mulazzani, M., Schwabl, W., Senft, C.,

- Zainlinger, R. (1989). Distributed fault-tolerant real-time systems: The Mars approach. *IEEE Micro*, 9(1), 25–40.
109. Kridi, D. S., Carvalho, C. G. N. de, Gomes, D. G. (2014). A predictive algorithm for mitigate swarming bees through proactive monitoring via wireless sensor networks. In *Proceedings of the 11th ACM symposium on Performance evaluation of wireless ad hoc, sensor, & ubiquitous networks* (pp. 41–47).
110. Kridi, D. S., de Carvalho, C. G. N., Gomes, D. G. (2016). Application of wireless sensor networks for beehive monitoring and in-hive thermal patterns detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 221–235.
111. Kviesis, A., Klavina, A., Vitols, G. (2017). Development of classroom microclimate monitoring system. In *Proceedings of the 16th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT* (p. 6).
112. Kviesis, A., Zacepins, A. (2015). System Architectures for Real-time Bee Colony Temperature Monitoring. *Procedia Computer Science*, 43C, 86–94. <http://doi.org/10.1016/j.procs.2014.12.012>
113. Kviesis, A., Zacepins, A. (2016). Application of neural networks for honey bee colony state identification. In *Carpathian Control Conference (ICCC), 2016 17th International* (pp. 413–417).
114. Kviesis, A., Zacepins, A., Durgun, M., Tekin, S. (2015). Application of Wireless Sensor Networks in Precision Apiculture. In *Proceedings of the 14th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT* (p. 6).
115. Kviesis, A., Zacepins, A., Riders, G. (2015). Honey bee colony monitoring with implemented decision support system. In *Proceedings of the 14th International Scientific Conference ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT* (p. 6).
116. Lane, R. D., Ryan, L., Nadel, L., Greenberg, L. (2015). Memory reconsolidation, emotional arousal, and the process of change in psychotherapy: New insights from brain science. *Behavioral and Brain Sciences*, 38.
117. Lawrence, I., Lin, K. (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, 255–268.
118. LeCun, Y. A., Bottou, L., Orr, G. B., Müller, K.-R. (2012). Efficient backprop. In *Neural networks: Tricks of the trade* (pp. 9–48). Springer.
119. LETA. (2011). *Igaunijā masveidā izmirst medus bišu saimes*. [online] [accessed 23.10.2018]. Available at: <https://www.diena.lv/raksts/izklaide/cits/igaunija-masveida-izmirst-medus-bisu-saimes-13904935>.
120. LETA. (2018). *Aizvadītajā ziemā Latvijā gājuši bojā 16,6% bišu saimju, secinājusi biedrība*. [online] [accessed 23.10.2018]. Available at:

- [https://www.delfi.lv/bizness/biznesa\\_vide/aizvaditaja-ziemas-latvija-gajusi-boja-16-6-bisu-saimju-secinajusi-biedriba.d?id=50105293](https://www.delfi.lv/bizness/biznesa_vide/aizvaditaja-ziemas-latvija-gajusi-boja-16-6-bisu-saimju-secinajusi-biedriba.d?id=50105293).
121. Li, Y. (2015). Normal and Abnormal Behaviors of Swine under Production Conditions.
  122. Linke, B. (2008). *Overview of 1-Wire Technology and Its Use*. [online] [accessed 23.01.2017]. Available at: <http://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN1796.pdf>.
  123. *Listening to bees*. (n.d.). [online] [accessed 05.05.2018]. Available at: <http://www.arnia.co.uk/>.
  124. Logan, M. (2014). *Defining the Problem: Step 1 in the 5-Step Decision Making Process to Improve Your Supply Chain*. [online] [accessed 18.12.2018]. Available at: <https://www.bastiansolutions.com/blog/index.php/2014/05/22/step-1-in-the-5-step-decision-making-process-define-the-problem/>.
  125. Long, M. (2018). *How to Install Nginx on the Raspberry Pi: Raspberry Pi Nginx Web Server*. [online] [accessed 05.11.2018]. Available at: <https://www.electromaker.io/tutorial/blog/how-to-install-nginx-on-the-raspberry-pi-raspberry-pi-nginx-web-server>.
  126. Madaan, V., Garg, A. (2016). DSSBD: Fuzzy rule based decision support system for blood disease diagnosis. *International Journal of Control Theory and Application*, 9(11), 5149–5158.
  127. Mahaman, B. D., Harizanis, P., Filis, I., Antonopoulou, E., Yialouris, C. P., Sideridis, A. B. (2002). A diagnostic expert system for honeybee pests. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(1), 17–31.
  128. Marakas, G. M. (2003). *Decision support systems in the 21st century* (Vol. 134). Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.
  129. Markovic, D., Pešović, U., Djurasevic, S., Sinisa, R. (2016). Decision support system for temperature monitoring in beehives. *Acta Agriculturae Serbica*, 21(42), 135–144.
  130. Martin, J. (1967). *Design of real-time computer systems*. Prentice-Hall, Inc.
  131. McBratney, A., Whelan, B., Ancev, T., Bouma, J. (2005). Future directions of precision agriculture. *Precision Agriculture*, 6(1), 7–23.
  132. McCulloch, W. S., Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4), 115–133.
  133. McNamara, C. (n.d.). *Problem Solving and Decision Making (Solving Problems and Making Decisions)*. [online] [accessed 18.12.2018]. Available at: <https://managementhelp.org/personalproductivity/problems-solving.htm>.
  134. Mehran, K. (2008). Takagi-Sugeno fuzzy modeling for process control. *Industrial Automation, Robotics and Artificial Intelligence (EEE8005)*, 262.
  135. Meikle, W. G., Holst, N. (2015). Application of continuous monitoring of honeybee colonies. *Apidologie*, 46(1), 10–22.

136. Meikle, W. G., Holst, N., Mercadier, G., Derouane, F., James, R. R. (2006). Using balances linked to dataloggers to monitor honey bee colonies. *Journal of Apicultural Research*, 45(1), 39–41.
137. Meitalovs, J., Histjajevs, A., Stalidzans, E. (2009). Automatic Microclimate Controlled Beehive Observation System. In *8th International Scientific Conference 'Engineering for Rural Development'* (pp. 265–271). Jelgava, Latvia: Latvia University of Agriculture.
138. Membership functions (lecture 4). (2012). Retrieved from [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi7haPTu5LfAhVpqYsKHYZuCJ0QFjAAegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FMohamed\\_Mourad\\_Lafifi%2Fpost%2FWhat\\_is\\_the\\_greatest\\_lower\\_bound\\_for\\_fuzzy\\_g](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi7haPTu5LfAhVpqYsKHYZuCJ0QFjAAegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FMohamed_Mourad_Lafifi%2Fpost%2FWhat_is_the_greatest_lower_bound_for_fuzzy_g)
139. Microchip. (2018). ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P megaAVR® Data Sheet. Retrieved from <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATmega48A-PA-88A-PA-168A-PA-328-P-DS-DS40002061A.pdf>
140. Milius, S. (2018). *The mystery of vanishing honeybees is still not definitively solved*. [online] [accessed 23.10.2018]. Available at: <https://www.sciencenews.org/article/mystery-vanishing-honeybees-still-not-definitively-solved>.
141. Miller, J. G. (1978). Living systems theory. *Behavioral Sciences*. New York: McGraw Hill.
142. Mizis, A. (2003). *Darbi bišu dravā*. Rīga: Avots.
143. Moreira, M., Fiesler, E. (1995). Neural networks with adaptive learning rate and momentum terms. *Technique Report* 95, 4.
144. Narkhede, S. (2018). *Understanding Confusion Matrix*. [online] [accessed 12.09.2018]. Available at: <https://towardsdatascience.com/understanding-confusion-matrix-a9ad42dcfd62>.
145. Nasirahmadi, A., Hensel, O., Edwards, S. A., Sturm, B. (2016). Automatic detection of mounting behaviours among pigs using image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 295–302.
146. Nguyen, N. C., Wegener, M., Russell, I. (2007). Decision support systems in Australian agriculture: state of the art and future development.
147. Nižetić, I., Fertalj, K., Milašinović, B. (2007). An overview of decision support system concepts. In *18th International Conference on Information and Intelligent Systems* (pp. 251–256).
148. Nordic Semiconductor. (2008). nRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver.
149. Nurminen, M., Suominen, P., Äyrämö, S., Kärkkäinen, T. (2008). Use cases for operational decision support system. *VTT Research Notes*; 2442.
150. Odroid. (2017). *Welcome to the ODROID Support Page*. [online] [accessed 15.06.2017]. Available at: <https://odroid.com/dokuwiki/doku.php>.

151. Packt. (2015). *Raspberry Pi and 1-Wire*. [online] [accessed 02.06.2016]. Available at: <https://hub.packtpub.com/raspberry-pi-and-1-wire/>.
152. Paonessa, S. (n.d.). *Reducing Signal Noise in Practice*. [online] [accessed 05.11.2018]. Available at: <https://www.predig.com/whitepaper/reducing-signal-noise-practice>.
153. Parikh, S., Stirman, K. (2013). *Schema Design for Time Series Data in MongoDB*. [online] [accessed 01.09.2018]. Available at: <https://www.mongodb.com/blog/post/schema-design-for-time-series-data-in-mongodb?jmp=fcb>.
154. Picco, G. Pietro. (2010). Software engineering and wireless sensor networks: happy marriage or consensual divorce? In *Proceedings of the FSE/SDP workshop on Future of software engineering research* (pp. 283–286).
155. Power, D. J. (2002). *Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers*. Greenwood Publishing Group.
156. Power, D. J., Sharda, R. (2009). Decision Support Systems. In *Springer Handbook of Automation* (pp. 1539–1548). Springer.
157. Powers, D. M. (2011). Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation.
158. Project information. (2013). [online] [accessed 05.05.2016]. Available at: <http://www.itapic.eu/>.
159. Qazi, K. A., Mehmood, Z., Nawaz, T., Habib, H. A. (2018). GOAT FLOCK SURVEILLANCE: A VIDEO ANALYTICS FRAMEWORK USING QUADCOPTER. *Pakistan Journal of Science*, 70(1), 63–70.
160. Rajabi, M., Bohloli, B., Gholampour Ahangar, E. (2010). Intelligent approaches for prediction of compressional, shear and Stoneley wave velocities from conventional well log data: A case study from the Sarvak carbonate reservoir in the Abadan Plain (Southwestern Iran). *Computers & Geosciences*, 36, 647–664. <http://doi.org/10.1016/j.cageo.2009.09.008>
161. Rakic, A. (2010). Fuzzy logic. Introduction 3. Fuzzy Inference. Retrieved from  
[https://cilab.sejong.ac.kr/gc/lib/exe/fetch.php?media=wiki:페이지추론\\_김경중.ppt](https://cilab.sejong.ac.kr/gc/lib/exe/fetch.php?media=wiki:페이지추론_김경중.ppt)
162. Rangel, J., Seeley, T. D. (2012). Colony fissioning in honey bees: size and significance of the swarm fraction. *Insectes Sociaux*, 59(4), 453–462.
163. Raspberry Pi. (n.d.-a). [online] [accessed 02.06.2016]. Available at: <https://www.techopedia.com/definition/27747/raspberry-pi>.
164. Raspberry Pi. (n.d.-b). [online] [accessed 18.05.2014]. Available at: <http://www.raspberrypi.org/>.
165. RF24Mesh V1.0.3b. (2015). [online] [accessed 15.06.2017]. Available at: <http://tmrh20.github.io/RF24Mesh/General-Usage.html>.
166. Rodionovs, V., Šabaršovs, I. (1983). *Ja jums ir bites*. (R. Klaviņa, Ed.).

Rīga: Avots.

167. Rojas, R. (1996). Neural Networks. A systematic approach. Springer-Verlag.
168. Romanov, B. (n.d.). *Bee Hive Live Camera*. [online] [accessed 06.01.2013]. Available at: <http://www.beebehavior.com/livecam.php>.
169. Ross, T. J. (2005). *Fuzzy logic with engineering applications*. John Wiley & Sons.
170. *Rules Don't Apply to Bees – Part 1 (Late Summer Swarm)*. (2014). [online] [accessed 17.05.2018]. Available at: <https://boobeehoney.com/2014/08/28/rules-dont-apply-to-bees-part-1-late-summer-swarm/>.
171. Rusu, M., Zbancioc, M.-D. (2017). Fuzzy Rule-based System for Pattern Recognition and Automated Classification. *Computer Science Journal of Moldova*, 25(1).
172. Sabri, N., Aljunid, S. A., Salim, M. S., Badlishah, R. B., Kamaruddin, R., Malek, M. F. A. (2013). Fuzzy Inference System: Short Review and Design. *International Review of Automatic Control*, 6(4).
173. Saeed, B. I., Mehrdadi, B. (2012). A Network Based Learning Architecture for Fuzzy Logic Controllers.
174. Saha, H., Mandal, S., Mitra, S., Banerjee, S., Saha, U. (2017). Comparative Performance Analysis between nRF24L01+ and XBEE ZB Module Based Wireless Ad-hoc Networks. *International Journal of Computer Network and Information Security*, 9(7), 36.
175. Salarpour, A., Salarpour, A., Fathi, M., Dezfoulian, M. (2011). Vehicle tracking using Kalman filter and features. *Signal & Image Processing*, 2(2).
176. Salunkhe, A. (2010). Compound—Fuzzy Inference System for Temperature Controller. *International Journal of Electronics Engineering*, 2(2), 341–344.
177. Sammouda, R., Touir, A., Reyad, Y. A., Adgaba, N., Ai-Ghamdi, A., Hegazy, S. S. (2013). Adapting artificial hopfield neural network for agriculture satellite image segmentation. In *Computer Applications Technology (ICCAT), 2013 International Conference on* (pp. 1–7).
178. Saxena, S. (2018). *Precision vs Recall*. [online] [accessed 12.09.2018]. Available at: <https://towardsdatascience.com/precision-vs-recall-386cf9f89488>.
179. Scargill, P. (2017). *ESP8266 Mesh Experiment*. [online] [accessed 02.09.2018]. Available at: <https://tech.scargill.net/esp8266-mesh-experiment/>.
180. Seeley, T. D., Buhrman, S. C. (1999). Group decision making in swarms of honey bees. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 45(1), 19–31.
181. Seeley, T. D., Kleinhenz, M., Bujok, B., Tautz, J. (2003). Thorough warm-up before take-off in honey bee swarms. *Naturwissenschaften*, 90(6), 256–260.

182. Selmic, R. R., Phoha, V. V., Serwadda, A. (2016). Topology, Routing, and Modeling Tools. In *Wireless Sensor Networks* (pp. 23–36). Springer.
183. Sensirion. (2011). Datasheet SHT7x (SHT71, SHT75) Humidity and Temperature Sensor IC. Retrieved from [http://www.mouser.com/ds/2/682/Sensirion\\_Humidity\\_SHT7x\\_Datasheet\\_V5-469726.pdf](http://www.mouser.com/ds/2/682/Sensirion_Humidity_SHT7x_Datasheet_V5-469726.pdf)
184. *Setting up an NGINX web server on a Raspberry Pi*. (n.d.). [online] [accessed 05.11.2018]. Available at: <https://www.raspberrypi.org/documentation/remote-access/web-server/nginx.md>.
185. Shaout, A., Colella, D. (2015). Fuzzy System Model for Management of Driver Distractions in Motor Vehicles. *International Journal of Advanced Networking and Applications*, 6(6), 2520.
186. Sharma, A. (2017). *Understanding Activation Functions in Neural Networks*. [online] [accessed 23.03.2018]. Available at: <https://medium.com/the-theory-of-everything/understanding-activation-functions-in-neural-networks-9491262884e0>.
187. Sharma, D., Verma, S., Sharma, K. (2013). Network topologies in wireless sensor networks: a review 1.
188. Sharma, S. (2017). *Activation Functions in Neural Networks*. [online] [accessed 10.12.2017]. Available at: <https://towardsdatascience.com/activation-functions-neural-networks-1cbd9f8d91d6>.
189. Shelton, R. C., Trivedi, M. H. (2011). Using algorithms and computerized decision support systems to treat major depression. *The Journal of Clinical Psychiatry*, 72(12), e36--e36.
190. Shim, J. P., Warkentin, M., Courtney, J. F., Power, D. J., Sharda, R., Carlsson, C. (2002). Past, present, and future of decision support technology. *Decision Support Systems*, 33(2), 111–126.
191. Shung, K. P. (2018). *Accuracy, Precision, Recall or F1?* [online] [accessed 12.10.2018]. Available at: <https://towardsdatascience.com/accuracy-precision-recall-or-f1-331fb37c5cb9>.
192. Simon, H. A. (1960). The new science of management decision.
193. Simonovic, S. P. (1999). Decision support system for flood management in the Red River Basin. *Canadian Water Resources Journal*, 24(3), 203–223.
194. Singhala, P., Shah, D., Patel, B. (2014). Temperature control using fuzzy logic. *ArXiv Preprint ArXiv:1402.3654*.
195. *So what does the average honey bee cost?* (2011). [online] [accessed 12.10.2018]. Available at: <https://honeybeesuite.com/so-what-does-the-average-honey-bee-cost/>.
196. *Solutionbee Products*. (n.d.). [online] [accessed 05.05.2018]. Available at: <https://solutionbee.com/our-products#1446901475917-f864324c-a8fe>.
197. 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*, 90, 1–6.
198. Šteiselis, J. (n.d.). *LBB biškopju aptaujas rezultātu apkopojums*. [online] [accessed 12.10.2018]. Available at: <http://www.strops.lv/index.php/raksti/dravosanas-panemieni/467-lbb-biskopju-aptaujas-rezultatu-apkopojums>.
  199. Šteiselis, J. (2009). *Biškopība iesācējiem*. Rīga: Zvaigzne ABC.
  200. Su, C.-T., Chen, K.-H., Chen, L.-F., Wang, P.-C., Hsiao, Y.-H. (2012). Prediagnosis of obstructive sleep apnea via multiclass MTS. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2012.
  201. Swanson, G. A., Miller, J. G. (2002). Living systems theory. *Systems Science and Cybernetics*, 1, 1–6.
  202. Tarn, J. M., Wen, H. J., Shih, S. C. (2008). A theoretical perspective of man-made system disasters: Social-technical analysis and design. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 17(2), 256–280.
  203. Trend Tests. (2013). [online] [accessed 15.01.2018]. Available at: [https://www.itrcweb.org/gsmc-1/Content/GW\\_Stats/5\\_Methods\\_in\\_individual\\_Topics/5\\_5\\_Trend\\_Tests.htm](https://www.itrcweb.org/gsmc-1/Content/GW_Stats/5_Methods_in_individual_Topics/5_5_Trend_Tests.htm).
  204. Trouiller, J., Arnold, G., Chappe, B., Le Conte, Y., Masson, C. (1992). Semiochemical basis of infestation of honey bee brood by Varroa jacobsoni. *Journal of Chemical Ecology*, 18(11), 2041–2053.
  205. Turban, E. (1993). *Decision support and expert systems: management support systems*. Prentice Hall PTR.
  206. User Stories. (n.d.). [online] [accessed 06.06.2018]. Available at: <https://www.mountaingoatsoftware.com/agile/user-stories>.
  207. Užga-Rebrovs, O., Kulešova, G. (2017). Comparative Analysis of Fuzzy Set Defuzzification Methods in the Context of Ecological Risk Assessment. *Information Technology and Management Science*, 20(1), 25–29.
  208. Vito, F., Lorenzo, A. (2011). *Biological monitoring*. [online] [accessed 05.05.2018]. Available at: <http://www.iloencyclopaedia.org/part-iv-66769/biological-monitoring-65407/27/general-principles>.
  209. Vlad, V., Ion, N., Cojocaru, G., Ion, V., Lorent, A. (2012). Model and support system prototype for scheduling the beehive emplacement to agricultural and forest melliferous resources. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, LV, 410–415.
  210. Vornicu, O. C., Olah, I. (2004). Monitorizing System of Bee Families Activity. In *7th International Conference on Development and Application Systems* (pp. 88–94). Iasi, Romania.
  211. Voskarides, S., Josserand, L., Martin, J. P., Novales, C., Micheletto, D. (2013). Electronic Bee – Hive (E – Ruche) Project. In *VIVUS - Environmentalism, Agriculture, Horticulture, Food Production and Processing* (pp. 311–319).
  212. WANG, T.-C., LEE, H.-D. (2006). Constructing a fuzzy decision tree by

- integrating fuzzy sets and entropy. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*.
213. Warnke, U. (2009). Bees, birds and mankind. *Destroying Nature by "Electrosmog*, 47.
214. Welcome to colonymonitoring.com! (n.d.). [online] [accessed 23.10.2014]. Available at: <http://colonymonitoring.com/cmwp/>.
215. Welcome to Solutionbee! (n.d.). [online] [accessed 05.05.2018]. Available at: <https://solutionbee.com/>.
216. What Is a Wireless Sensor Network? (2016). [online] [accessed 05.07.2017]. Available at: <http://www.ni.com/white-paper/7142/en/>.
217. Woods, E. F. (1959). Electronic prediction of swarming in bees.
218. Yourdon, E. (2006). Just enough structured analysis. *Published at:< Http://Www. Yourdon. Com*, 2, 3.
219. Zacepins, A. (2012). Application of bee hive temperature measurements for recognition of bee colony state. In *Applied information and communication technologies. Proceedings of the 5th International Scientific Conference, Jelgava, Latvia, 26-27 April, 2012*. (pp. 216–221).
220. Zacepins, A. (2013). UZ MODEĻIEM BALSTĪTA DAUDZOBJEKTU BIOSISTĒMAS PRECĪZĀ DATORVADĪBA.
221. Zacepins, A., Brusbardis, V., Meitalovs, J., Stalidzans, E. (2015). Challenges in the development of Precision Beekeeping. *Biosystems Engineering*, 130, 60–71.
222. Zacepins, A., Jelinskis, J., Kviesis, A., Dzenis, M., Komasilovs, V., Komasilova, O. (2018). Application of LoRaWAN technology in precision beekeeping. In *Agrosym 2018 Book of proceedings* (pp. 1759–1765).
223. Zacepins, A., Karasha, T. (2013). Application of temperature measurements for the bee colony monitoring: a review. In *Proceedings of the 12th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development* (pp. 126–131).
224. Zacepins, A., Kviesis, A., Ahrendt, P., Richter, U., Tekin, S., Durgun, M. (2016). Beekeeping in the future—Smart apiary management. In *Carpathian Control Conference (ICCC), 2016 17th International* (pp. 808–812).
225. Zacepins, A., Kviesis, A., Stalidzans, E., Liepniece, M., Meitalovs, J. (2016). Remote detection of the swarming of honey bee colonies by single-point temperature monitoring. *Biosystems Engineering*, 148, 76–80.
226. Zacepins, A., Meitalovs, J. (2014). Implementation of multi-node temperature measurement system for bee colonies online monitoring. *Control Conference (ICCC), 2014 15th International Carpathian*. <http://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2014.6843694>
227. 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)* (pp. 465–468). Velke Karlovice, Czech Republic.  
<http://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2011.5945901>

228. Zacepins, A., Pecka, A., Osadcuks, V., Kviesis, A. (2017). Development of Internet of Things concept for Precision Beekeeping. In *Carpathian Control Conference (ICCC), 2017 18th International*.
229. Zacepins, A., Pecka, A., Osadcuks, V., Kviesis, A., Engel, S. (2017). Solution for automated bee colony weight monitoring. *Agronomy Research*, 15(2), 585–593.
230. 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.
231. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338–353.
232. Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 1(1), 22–32.
233. Zhu, W. (2013). Assessing impacts of pesticides and other stressors on honey bee colony health: Experimental and modeling approaches.
234. Zigbee RF Modules. (2018). Retrieved from <https://www.digi.com/resources/documentation/digidocs/PDFs/90000976.pdf>
235. Zoccali, P. et al. (2017). A novel GIS-based approach to assess beekeeping suitability of Mediterranean lands. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(5), 1045–1050.