

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

**Ivars BEINARTS**

**IZPLŪDUŠĀS LOĢIKAS KONTROLLERU ALGORITMU  
IZPĒTE PASAŽIERU TRANSPORTA SALONA  
SILTUMA KOMFORTA VADĪBAI**

**Promocijas darba kopsavilkums**

**Rīga 2011**

**RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**  
Energētikas un Elektrotehnikas fakultāte  
Industriālās Elektronikas un Elektrotehnikas institūts

**Ivars BEINARTS**

Doktora studiju programmas „Elektrotehnoloģiju datorvadība” doktorants

**IZPLŪDUŠĀS LOĢIKAS KONTROLLERU ALGORITMU  
IZPĒTE PASAŽIERU TRANSPORTA SALONA  
SILTUMA KOMFORTA VADĪBAI**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskais vadītājs  
Dr. sc. ing., profesors  
**A.ĻEVČENKOVŠ**

**RTU izdevniecība**

**Rīga 2011**

UDK 681.513.2+629.5.046 (043.2)  
Be 163 i

Beinarts I. Izplūdušās loģikas kontrolleru  
algoritmu izpēte pasažieru transporta salona  
siltuma komforta vadībai.  
Promocijas darba kopsavilkums.-R.:RTU,  
2011.-31 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU IEE institūta  
2011.gada 28.jūnija lēmumu, protokols Nr.57

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā «Atbalsts RTU doktora studiju  
īstenošanai».

ISBN 

**PROMOCIJAS DARBS  
IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI  
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2011.gada 2.novembrī Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un Elektrotehnikas fakultātē, Kronvalda bulvārī 1, 117 auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, Dr.habil.sc.ing. Ivars Raņķis  
Rīgas Tehniskā universitāte (Latvija)

Profesors, Dr. habil.sc.ing. Egīls Dzelzītis  
Rīgas Tehniskā universitāte (Latvija)

Profesors, Dr.sc.ing. Žilvinas Bazaras  
Kauņas Tehnoloģiju universitāte (Lietuva)

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Ivars Beinarts .....(Paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 5 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 2 pielikumus, 114 zīmējumus un ilustrācijas, kopā 171 lappuses. Literatūras sarakstā ir 177 nosaukumi.

## SATURS

<b>Tēmas aktualitāte .....</b>	<b>5</b>
<b>Darba mērķis .....</b>	<b>5</b>
<b>Pētījumu metodika .....</b>	<b>6</b>
<b>Zinātniskā novitāte .....</b>	<b>7</b>
<b>Galvenie rezultāti.....</b>	<b>7</b>
<b>Darba praktiskais pielietojums .....</b>	<b>7</b>
<b>Darba aprobācija.....</b>	<b>8</b>
<b>Autora publikācijas.....</b>	<b>9</b>
<b>Promocijas darba struktūra .....</b>	<b>12</b>
<b>Secinājumi .....</b>	<b>27</b>
<b>Izmantotie informācijas avoti.....</b>	<b>29</b>

## **TĒMAS AKTUALITĀTE**

Pēdējā laikā notiek strauja datortehnikas un elektronikas attīstība, tiek palielināta datorsistēmu un programmējamo kontrolleru jauda un ātrdarbība, tas dod iespēju izstrādāt jaunas ar mākslīgo intelektu saistītas sarežģītu fizikālo procesu vadības metodes, uz kuru bāzes var veikt jaunu, uz programmējamajiem kontrolleriem balstītu vadības sistēmu izstrādi, kas varētu nomainīt tradicionālās vadības sistēmas, uzlabojot to darbības kvalitāti un efektivitāti. Šādu, uz mākslīgā intelekta bāzētu vadības sistēmu pielietojums ir ļoti plašs, bet pēc autora domām, ir svarīgi zinātnes un tehnikas sasniegumus izmantot cilvēka komforta palielināšanai, kā arī šī komforta nodrošināšanai patērējamās elektroenerģijas daudzuma samazināšanai.

Visi ir saskārušies ar pasažieru komforta nodrošināšanas problēmām sabiedriskajā elektrotransportā. Īpaši problemātiska komforta nodrošināšana ir vasarā dēļ augstajām gaisa temperatūrām un palielinātā saules starojuma, kā arī aukstajās ziemas dienās dēļ zemās āra gaisa temperatūras. Problēmas risināšanu sarežģī biežā āra vides savienošanās ar iekšējo pasažieru salona vidi, pieturvietās vai stacijās atverot durvis, vai pasažieriem atverot transportlīdzekļa logus, mēģinājumā labot diskomforta sajūtas. Tā rezultātā strauji izmainās pasažieru salona iekšējās vides parametri un tie kļūst nevienmērīgi visā iekšējā telpā. Līdz ar to pasažieriem var rasties dažādas komforta novērtējuma izjūtas. Šobrīd Latvijā pielietojamajos sabiedriskā transporta līdzekļos nav paredzēta iespēja ņemt vērā pasažieru viedokli par nodrošināto siltuma komforta līmeni un veikt telpas mikroklimatu nodrošinošo iekārtu darbības parametru korekciju atbilstoši situācijai, kā arī netiek ņemts vērā pasažieru salona aizpildījums un pasažieru izvietojums salonā.

Šeit autors saskata iespēju veikt situācijas uzlabojumus un automātiskās vadības sistēmās ieviest jaunus vadības algoritmus, pielietojot izplūdušās loģikas kontrollerus un bezkontakta identifikācijas metodi, paaugstinātu pasažieru komforta līmeni un dotu iespēju pasažieriem izteikt savu viedokli par tā kvalitāti.

## **DARBA MĒRĶIS**

Darba mērķis ir rekomendāciju un praktiska pielietojuma metožu izstrāde un izpēte sabiedriskā transporta pasažieru siltuma komforta novērtēšanai un šī novērtējuma automatizētai pielietošanai pasažieru salona mikroklimata parametru korekcijai.

Mērķa sasniegšanai tiek uzstādīti sekojoši uzdevumi:

1. Veikt regulējamās sabiedriskā elektrotransporta pasažieru salona vides mikroklimata parametru un īpatnību izpēti.

2. Veikt pasažieru komforta sajūtu ietekmējošo faktoru un uzlabošanas iespēju izpēti.
3. Veikt pielietojamo apkures, ventilācijas un gaisa kondicionēšanas iekārtu (AVGK) izpēti.
4. Izstrādāt pasažieru komforta līmeņa novērtēšanas algoritmu un metodi novērtējuma pielietošanai AVGK sistēmas agregātu darbības režīmu optimizācijai.
5. Izstrādāt AVGK iekārtas optimizētas vadības algoritmus un vadības sistēmas struktūrshēmu.
6. Izstrādāt pasažieru salona aizpildījuma identificēšanas metodi un algoritmu izmantojot bezvadu tehnoloģijas.
7. Pārbaudīt eksperimentāli izstrādātās vadības sistēmas galveno mezglu funkcionalitāti un tās pielietojamību uzstādītajam mērķim.
8. Eksperimentāli salīdzināt izstrādāto sistēmu ar tradicionālo divpakāpju AVGK iekārtas vadības sistēmu.
9. Sniegt secinājumus par pasažieru komforta līmeņa paaugstināšanas iespējām un to ietekmi uz mikroklimate regulēšanai izlietojamās elektroenerģijas patēriņu, salīdzinājumā ar divpakāpju vadības sistēmu.

## **PĒTĪJUMU METODIKA**

Promocijas darba uzstādīto mērķu sasniegšanai tiek pielietota procesu izplūdušās loģikas (IL) vadības metode un bezkontakta radiofrekvenču identifikācijas metode (RFID). Sabiedriskā transporta pasažieru salona termālās vides modelēšanai ir izmantota Matlab/Simulink datorprogramma, kurā tiek modelēti arī vides parametru regulēšanai paredzētie apkures, ventilācijas un gaisa kondicionēšanas iekārtas agregāti un pasažieru veiktais balsojums. Izplūdušās loģikas regulators ir izgatavots izmantojot SIEMENS Simatics S7-224XP programmējamo kontrolleri, kurš ir pieslēgts pasažieru salona datormodelim. Kontrollera atmiņā ir ierakstīta uz izplūdušās loģikas vadības metodes bāzes izstrādātā programma. Pasažieru komforta sajūtu novērtējums tiek veikts virtuāli Matlab/Simulink datorprogrammas modelī un pasažieru vēlmēm atbilstošā iestatītās mērķa temperatūras korekcijas vērtība tiek aprēķināta izmantojot izplūdušās loģikas kontrollera apakšprogrammu. Salīdzināmā tradicionālā AVGK iekārta ar divpakāpju vadības sistēmu pilnībā ir modelēta Matlab/Simulink vidē.

## **ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE**

Promocijas darbā, sabiedriskā elektrotransporta pasažieru termālā komforta paaugstināšanai, ir izstrādāta pasažieru termālā komforta apmierinātības noteikšanas metodika, izmantojot izplūdušās loģikas kontrolleru un uz pasažieru apmierinātības novērtējuma pamata veicamā automātiskā pasažieru salona termālo parametru iestatīto mērķa vērtību korekcijas metode.

## **GALVENIE REZULTĀTI**

Promocijas darbā tiek veikta sekojošu sistēmas mezglu izstrāde:

- Pasažieru komforta līmeņa novērtējuma balsojuma saņemšanas un tā apstrādes mezgls izmantojot izplūdušās loģikas kontrolleru.
- AVGK iekārtas vadības sistēmas mezgls ar izplūdušās loģikas kontrolleru pielietošanai pasažieru salona gaisa temperatūras un mitruma līmeņa regulēšanā, ņemot vērā iestatītās mērķa parametru vērtības, kuras tiek koriģētas atbilstoši pasažieru izteiktajām vēlmēm un āra vides sezonālajām izmaiņām.
- Pasažieru iepriekš izteikto komforta vēlmju un pasažieru salona aizpildījuma noteikšanas mezgls, izmantojot RFID bezvadu identifikācijas metodi.

Eksperimentos tika pārbaudīta izvirzīto prasību atbilstība noteiktajam mērķim un sistēmas funkcionalitāte. Tiek aprakstīta programmējamā kontrollera programma un tā pieslēgšana pie virtuālas elektrotransporta pasažieru salona vides un modelētās AVGK iekārtas, kā arī doti eksperimenta rezultātā iegūtie rezultāti un svarīgākās procesus raksturojošās līknes.

Pamatojoties uz promocijas darbā izstrādātās sistēmas novitāti, Latvijas Republikas Patentu valdē ir iesniegts patenta pieteikums Nr: P-11-52 „Automatizēta lietotāju vēlmju identifikācijas sistēma telpas mikroklimata regulēšanai” I.Beinarts, A.Ļevčenkovs, L.Ribickis.

## **DARBA PRAKTISKAIS PIELIETOJUMS**

Promocija darbā izstrādāto programmējamā kontrollera programmu un vadības algoritmus var pielietot pasažieru siltuma komforta nodrošināšanas sistēmās sabiedriskajā transportā un veicot daļēju iestatāmo parametru un vadības noteikumu korekciju arī dzīvojamās un sabiedriskās ēkās un citās telpās. Programmējamais kontrolleris ar tajā ierakstīto izplūdušās loģikas vadības programmu ir pielietojams reālu AVGK iekārtu vadības funkciju veikšanai.

## DARBA APROBĀCIJA

1. EUROCON 2011. International Conference on Computer as a Tool. Lisbon, Portugal, April 27-29, 2011. Ziņojums: „Fuzzy Logic Controller Support to Passengers’ Comfort for Electric Train Coach Heating System”.
2. 50<sup>th</sup> RTU International Scientific Conference. Riga, Latvia. October 14-16, 2009. Ziņojums: ”Modeling of Fuzzy Logic Controller Support for Passengers’ Interior Heating System of Electric Transport”.
3. Baltic Defence Research and Technology 2009, Riga, Latvia, September 10-11, 2009. Ziņojums: „Personalized Fuzzy Logic Control of Microclimate in Military Transport Vehicle Cabin”.
4. 8<sup>th</sup> International Conference „Transport Systems Telematics TST 2008”. Katowice-Ustron, Poland, November 5-8, 2008. Ziņojums: „ Usage of Neuro-Fuzzy Controller for Passengers’ Interior Heating System of Railway Electric Transport”.
5. 49<sup>th</sup> RTU International Scientific Conference. Riga, Latvia. October 13-14, 2008. Ziņojums: ”Modeling of Fuzzy Logic Controller Support for Passengers’ Interior Heating System of Electric Transport”.
6. 8<sup>th</sup> Portuguese Conference on Automatic Control „Controlo 2008”. Vila Real, Portugal. July 21.-23. 2008. Ziņojums: “Usage of Self-Organizing Map for Heating Control in Electric Train Passengers’ Interior”.
7. 4<sup>th</sup> International Conference “Mechatronic Systems and Materials 2008”. Bialystok, Poland. July 14-17. 2008. Ziņojums: “Control of Heating Processes in Electro Transport Mechatronic System Using Feed Forward Neural Network”.
8. 16<sup>th</sup> International Symposium “EURNEX-Žel2008”. Žilina, Slovak Republic. June 4-5, 2008. Ziņojums: „Usage of Fuzzy Logic Controller for Passengers’ Interior Heating System of Railway Electric Transport”.
9. 7<sup>th</sup> International Conference „Transport Systems Telematics TST 2007”. Katowice, Poland, October 17-19, 2007. Ziņojums: „Passengers’ Interior Climate Parameters Optimization Using Intelligent Control with Neural Networks”.
10. 11<sup>th</sup> International Conference „Transport Means 2007”. Kaunas, Lithuania, October 18, 2007. Ziņojums: „Climate Parameters Optimization Using Intelligent Control with Multiple Criteria Decision Making”.
11. 48<sup>th</sup> RTU International Scientific Conference. Riga, Latvia. October 11-13, 2007. Ziņojums: ”Intelligent Systems for Transport Microclimate Parameters Optimization Using Multi Criteria Decision Making”.
12. 3<sup>rd</sup> international conference “Mechatronics Systems and Materials-2007”. Kaunas, Lithuania,. September 27. 2007. Ziņojums:“Intelligent Mechatronics Systems for Climate Parameters Optimization Using Fuzzy Logic Control”.

13. 12<sup>th</sup> international conference “Mechanika-2007”. Kaunas, Lithuania,. April 05. 2007. Ziņojums: “Modeling of intelligent Mechatronics Systems with Climate Parameters Control”.

#### AUTORA PUBLIKĀCIJAS

1. Beinarts I., Levchenkov A. *Fuzzy Logic Controller Support to Passengers' Comfort for Electric Train Coach Heating System*. In proceedings of: EUROCON 2011, International Conference on Computer as a Tool. ISBN 978-1-4244-7485, IEEE Catalog Number:CFP11EUR-CDR. Lisbon 2011. pp.501-504.
2. Beinarts I., Levchenkov A. *Multiple Criteria Decision Support for Heating Systems in Electric Transport*. In Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems vol.634. M.Ehrgott, B.Naujoks et.al. ed: „Multiple Criteria Decision Making for Sustainable Energy and Transportation Systems”. ISBN 978-3-642-04044-3, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010. pp.27-34.
3. Beinarts I., Levchenkov A. *Control of Comfort Parameters in Interior of Railway Coach Using ANN and RFID Tasks*. Enerģētika un Elektrotehnika. - sērija 4, sējums 25. (2009), 171-176. lpp.
4. Beinarts I., Levchenkov A. *Personalized Fuzzy Logic Control of Microclimate in Military Transport Vehicle Cabin*. In proceedings of: International conference Baltic Defense Research and Technology 2009, Riga. – On CD,pp. 3-9.
5. Beinarts I., Levchenkov A. *Using Fuzzy Logic in MCDM Tasks for the Improvement of Passengers' Coach Environment Parameters*. In proceedings of: 20th International Conference on Multiple Criteria Decision Making, 2009. June, China, Chengdu/Jiuzhaigou. – Chengdu, 2009. p.137.
6. Beinarts I., Levchenkov A. *Usage Algorithm of AI Methods in Control of Railway Passengers Coach Environment Parameters*. In proceedings of: 17th International Symposium „EURO-Žel”, 2009. June, Slovakia, Žilina. – Žilina: EDIS, 2009. pp.7-14.
7. Бейнартс И.З., Левченков А.С., Балцкарс П.Я. *Алгоритм интеллектуального управления для системы отопления пассажирского вагона электропоезда*. Шестая международная научно-практическая конференция «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», 2008. Октябрь, Россия, Санкт-Петербург. Издательство Политехнического университета, 2008. p.50.
8. Beinarts I., Levchenkov A., Balckars P. *Control of Heating Processes in Electric Transport Mechatronic System Using Neural Network Controller*. Mašīnzinātne un transports. - sērija 6, sējums 30. (2008), 102-109. lpp.
9. Beinarts I., Levchenkov A., Balckars P. *Usage of Self-Organizing Map for Heating Control in Electric Train Passengers' Interior*. In proceedings of: 8th Portuguese Conference on Automatic Control „CONTROLO” 2008. July, Portugal, Vila Real. – Vila Real: Minfo, Lda., 2008. pp.420-425.

10. Beinarts I., Levchenkov A. *Usage of Neuro-Fuzzy Controller for Passengers' Interior Heating System of Railway Electric Transport*. In proceedings of: 8th International Conference „Transport Systems Telematics” 2008. November, Poland, Katowice-Ustron. – Katowice: Silesian University of Technology, 2008. p.3.
11. Beinarts I., Levchenkov A. *Usage of Neuro-Fuzzy Controller for Passengers' Interior Heating System of Railway Electric Transport*. Jerzy Mikulski, ed.: *Advances in Transport Systems Telematics*. - Poland, Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności Sp. z o.o., 2008. ISBN 078-83-206-1715-3, p.371.
12. Beinarts I., Levchenkov A. *Usage of Multilayer Perceptron Type Neural Network in Control of Electric Train Passengers' Interior Heating System*. In proceedings of : 24th ISPE International Conference on CAD/CAM, Robotics & Factories of the Future „CARS & FOF”. 2008. July, Japan, Koriyama. - Koriyama: Nihon University, 2008. pp.132-137.
13. Beinarts I., Levchenkov A. *Usage of Fuzzy Logic Controller for Passengers' Interior Heating System of Railway Electric Transport*. In proceedings of: 16th International Symposium „EURNEX-Žel” 2008. June, Slovakia, Žilina. - Žilina: EDIS, 2008. pp.238-245.
14. Beinarts I., Levchenkov A. *Multiple Criteria Decision Support for Heating Systems in city Electro Transport*. In proceedings of: 19th International Conference on Multiple Criteria Decision Making 2008. January, New Zealand, Auckland. – Auckland: The university of Auckland, 2008. p.125.
15. Beinarts I. *Modeling The Artificial Neural Network For Heating System Choice For City Electrical Transport*. In proceedings of: 3rd International Workshop „Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems” 2008. May, Lithuania, Kaunas. – Kaunas: Technologija, 2008. pp.109-112.
16. Beinarts I., Levchenkov A. *Modeling of Fuzzy Logic Controller Support for Passengers' Interior Heating System of Electric Transport*. *Enerġetika un Elektrotehnika*. - sērija 4, sējums 23. (2008), 151-157. lpp.
17. Beinarts I., Levchenkov A. *Modeling of Fuzzy Logic Controller Support for Air Heating System of Railway Coach*. Baskutiene J., Dragašius E., et.al., eds.: *Mechatronic Systems and Materials- Scientific Papers*. Lithuania, Kaunas: Technologija, 2008, pp.179-184.
18. Beinarts I., Levchenkov A., Balckars P. *Control of Heating Processes in Transport Mechatronic System Using Sigmoidal Neural Network*. *Acta Mechanica et Automatica*, vol. 2, No. 3, (2008), pp.14-18.
19. Beinarts I., Levchenkov A., Balckars P. *Control of Heating Processes in Electro Transport Mechatronic System Using Feed Forward Neural Network*. In proceedings of: 4th International Conference „Mechatronic Systems and Materials” 2008. July, Poland, Bialystok. – Bialystok: Bialystok Technical University, 2008. pp.73-74

20. Beinarts I., Levchenkov A. *Passengers' Interior Climate Parameters Optimization Using Intelligent Control with Neural Networks*. In proceedings of: 7th International Conference "Transport Systems Telematics" 2007. October, Poland, Katowice-Ustron. – Katowice: Silesian University of Technology, 2007. p.11.
21. Beinarts I., Levchenkov A. *Passengers' Interior Climate Parameters Optimization Using Intelligent Control with Neural Networks*. Jerzy Mikulski, ed.: *Advances in Transport Systems Telematics*. - Poland, Katowice: Chair of Automatic Control in Transport, Faculty of Transport, Silesian University of Technology, 2007. p.427.
22. *Modeling of Intelligent Mechatronics Systems with Climate Parameters Control*. Beinarts I., Levchenkov A., Kunicina N., Zhiravetska A. In proceedings of: 12th International Conference "Mechanika" 2007. April, Lithuania, Kaunas. – Kaunas: Technologija, 2007. pp.37-42.
23. Beinarts I., Levchenkov A. *Intelligent Systems for Transport Microclimate Parameters Optimization Using Multi Criteria Decision Making*. *Enerģētika un Elektrotehnika*. - sērija 4., sējums 20. (2007), 143-149.lpp.
24. Beinarts I., Levchenkov A., Kunicina N. *Intelligent Mechatronics Systems for Transport Climate Parameters Optimization using Fuzzy Logic Control*. In proceedings of: 3rd international conference "Mechatronics Systems and Materials" 2007. September, Lithuania, Kaunas. – Kaunas: Kauno Technologijos Universitetas, 2007. pp.165-166.
25. Beinarts I., Levchenkov A. *Climate Parameters Optimization Using Intelligent Control with Multiple Criteria Decision Making*. In proceedings of: 11th International Conference „Transport Means” 2007. October, Lithuania, Kaunas. – Kaunas: Technologija, 2007. pp.23-26.
26. Patenta pieteikums Nr:P-11-52 „Automatizēta lietotāju vēlmju identifikācijas sistēma telpas mikroklimata regulēšanai” I.Beinarts, A.Ļevčenkovs, L.Ribickis, 11.04.2011.

## PROMOCIJAS DARBA STRUKTŪRA

Ievads

1. Darba uzdevuma nostādne

1.1. Tēmas aktualitāte

1.2. Darba mērķis

2. Objekta vide un cilvēka komforts

2.1. Promocijas darba otrās nodaļas sasniedzamie mērķi

2.2. Vides parametri

2.3. Cilvēka termālais komforts

2.4. Objekta termālais modelis

2.5. Secinājumi par otro nodaļu

3. Objekta mikroklimata uzturēšana

3.1. Promocijas darba trešās nodaļas sasniedzamie mērķi

3.2. Sabiedriskā transporta mikroklimata uzturēšanas īpatnības

3.3. Telpas mikroklimata parametru mērīšana

3.4. AVGK iekārta

3.5. Vadības metožu izpēte

3.6. Secinājumi par trešo nodaļu

4. Sistēmas vadības metožu izstrāde

4.1. Promocijas darba ceturtais nodaļas sasniedzamie mērķi

4.2. Pasažieru komforta sajūtu novērtēšanas sistēma

4.3. AVGK sistēmas agregātu vadība ar IL kontrolera atbalstu

4.4. Pasažieru identifikācija izmantojot RFID

4.5. Secinājumi par ceturto nodaļu

5. Sistēmas vadības eksperimentālā pārbaude

5.1. Promocijas darba piektās nodaļas sasniedzamie mērķi

5.2. Pielietotais aprīkojums un datorprogrammas

5.3. IL kontrolera atbalsta modelēšana pasažieru komforta nodrošināšanai

5.4. AVGK iekārtas divpakāpju vadības modelis

5.5. RFID funkcionalitātes pārbaude

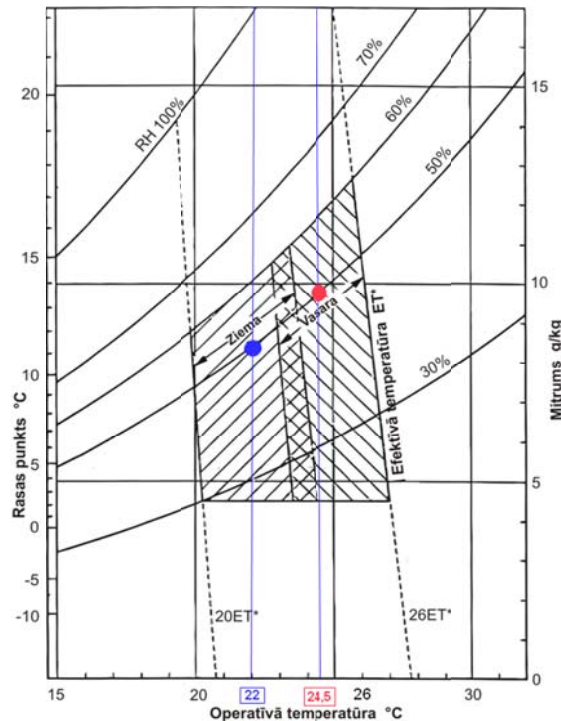
5.6. Modelēšanas rezultāti un secinājumi par piekto nodaļu

Secinājumi

Izmantotie informācijas avoti

## Cilvēka termālais komforts

Sabiedriskā transporta pasažieru salonā uzstādītās apkures, ventilācijas un gaisa kondicionēšanas sistēmas (AVGK) galvenais uzdevums ir nodrošināt nosacījumus cilvēka siltuma (termālajam) komfortam. Termālais komforts ir tāds cilvēka prāta stāvoklis, kas izsaka apmierinātību ar vides nosacījumiem. Tas ir atkarīgs no vairākām savstarpēji saistītām un sarežģītām parādībām, ietverot gan subjektīvus, gan arī objektīvus kritērijus, kurus ietekmē fiziski, fizioloģiski, psiholoģiski un citi procesi. Cilvēka secinājumi par termālo komfortu un diskomfortu tiek formēti no tiešām ādas temperatūras un mitruma izjūtām, iekšējās ķermeņa audu temperatūras un spriedzes, kas nepieciešama ķermeņa temperatūras noregulēšanai. Vispārināti var uzskatīt, ka termālais komforts ir nodrošināts, ja cilvēka ķermeņa temperatūra tiek noturēta šaurā svārstību diapazonā, ādas mitrums ir zems un fizioloģiskā regulēšanas spriedze ir minimāla. Sakarā ar individuālajām atšķirībām, nav iespējams noteikt termālās vides kritērijus, kas apmierinātu ikvienu. Standarts nosaka kritērijus termālajai videi, kas ir pieņemama vismaz 80% no telpas apmeklētājiem (att.1) [5], [42]. Šo zonu specifiskācija ir balstīta uz efektīvās temperatūras indeksa  $ET^*$  koncepcijas.



1.att. Cilvēka ziemas un vasaras termālā komforta parametru zonas

Pieņemamās temperatūras un mitruma vērtības pamatojoties uz 10% neapmierinātības kritēriju diagrammā ir norādītas ar iesvītrotajām zonām. Diagramma ataino dažādas komforta

zonas ziemai un vasarai, jo komforta sajūtas ir atkarīgas no apģērba siltumizolācijas ( $I_{cl}$ ). Ja pieņem, ka gaisa relatīvais mitrums ir 50%, vidējais gaisa plūsmas ātrums ir mazāks vai vienāds ar 0,15m/s, tad ziemas apstākļos normāli apģērbtiem cilvēkiem ( $I_{cl}=0,9$ ), kas veic vieglas, sēdošas aktivitātes ( $\leq 1,2$ met) optimālā telpas gaisa temperatūra ir +22°C, bet vasarā ( $I_{cl}=0,5$ ) optimālā temperatūra ir +24,5°C. Savukārt, ja pieļauj 10% neapmierinātības procentu, tad ziemas operatīvās temperatūras diapazons ir no +20°C līdz +23,5°C, bet vasaras- no +23°C līdz +26°C. Jo lielāka nobīde no šīm vērtībām, jo lielāks būs neapmierināto cilvēku īpatsvars. Sezonas reģiona zonas vidū, valkājot noteiktu, sezonai atbilstošu apģērbu, tipiskai personai termālā komforta sajūta būtu ļoti tuva neitrālai.

### Objekta termālais modelis

Telpas modelī mazākā vienība ir zona. Zonas modelis sastāv no divām daļām: termālais modelis un mitruma modelis [47]. Šie modeļi ir savstarpēji saistīti, jo tvaika piesātinājuma spiediens ir atkarīgs no temperatūras un no atbrīvotā kondensāta latentā siltuma. Lai aprēķinātu zonā nepieciešamos apkures vai dzesēšanas procesus, ir nepieciešams noteikt vairākus siltuma bilances terminus:

$$\Phi_l + \Phi_s = \Phi_g + \Phi_p \quad (1)$$

Kur  $\Phi_l$ - siltuma zudumi,  $\Phi_s$ -uzkrātais siltums,  $\Phi_g$ -siltuma pieplūde,  $\Phi_p$ -siltuma papildinājums no apkures vai dzesēšanas iekārtas.

Lai aprēķinātu gaisa mitrumu zonā, jānosaka vairāki masas bilances termini:

$$G_l + G_s = G_g + G_p \quad (2)$$

Kur  $G_l$ - mitruma zudumi,  $G_s$ -uzkrātais mitrums,  $G_g$ -tvaika pieplūde,  $G_p$ -mitruma papildinājums.

Katrai modelējamajai zonai ir trīs to raksturojošie vienādojumi (3-5) [47] ar siltuma /dzesēšanas jaudu, divu telpu temperatūrām, gaisa mitrināšanu / žāvēšanu un gaisa mitrumu kā nezināmajiem mainīgajiem:

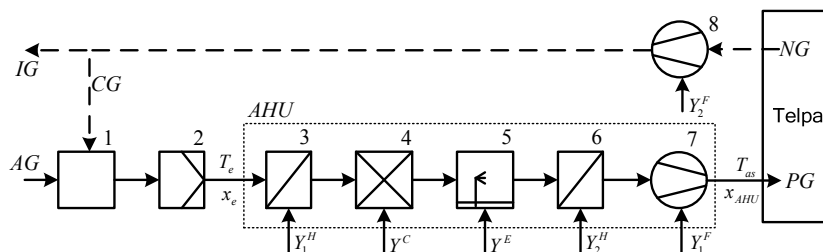
$$f_p \Phi_p = \frac{C_a (T_a - T_a^*)}{\Delta t - L_{xa} (T_x - T_a) - \Sigma L_{ab} (T_b - T_a) - \Phi_{g1}} \quad (3)$$

$$(1 - f_p) \Phi_p = L_x T_x - \Phi_0 - L_{xa} (T_a - T_x) - \Sigma L_{yx} (T_y - T_x) - \Phi_{g2} \quad (4)$$

$$G_p = \frac{[a_1 (C_{va} + C_f f_a) + a_2 C_v f_m] p_{va}}{\Delta t - G_0 - \Sigma L_{vab} (p_{vb} - p_{va}) - G_g} \quad (5)$$

## AVGK sistēma

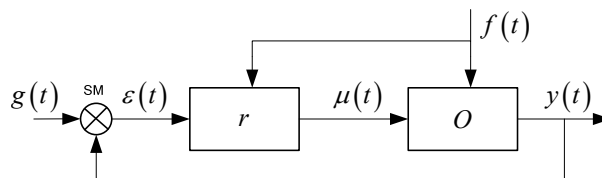
Apkures, ventilācijas un gaisa kondicionēšanas (AVGK) sistēma [2], [31] nodrošina nepieciešamo telpas mikroklimata parametru korekciju atbilstoši vadības sistēmas uzstādītajiem parametriem. AVGK sistēmas pamatelementi ir gaisa sildītājs, gaisa dzesētājs, gaisa plūsmas ventilators, kā arī gaisa mitrinātājs un žāvētājs. Ar šo ierīču palīdzību var veikt nepieciešamās pasažieru salona mikroklimata izmaiņas, nodrošinot nepieciešamo pasažieru termālā komforta līmeni. Āra gaisa sagatavošana līdz noteiktajiem kvalitātes rādītājiem notiek gaisa sagatavošanas mezglā- AHU. Tas sastāv no gaisa sildīšanas elementa un dzesēšanas elementa, mitrinātāja un žāvētāja, kuri siltumenerģiju  $Q$  un vadības signālus  $Y$  saņem no AVGK sistēmas. Āra gaisam plūstot caur AHU, norisinās siltumapmaiņas procesi starp gaisa masu un sildītāja/dzesētāja elementiem (att.2).



2.att. Gaisa sagatavošanas sistēmas blokhēma

### Sistēmas vadības metožu izstrāde

Komfortabla un tehnoloģiska gaisa kondicionēšana bāzējas uz siltuma un gaisa masas apmaiņas teorijas pamatiem [4] un tiek raksturota ar paaugstinātas sarežģītības notiekošajiem procesiem, kas ir pamatojams ar lielu parametru skaitu, lielu iekšējo sakarību un mainīgo skaitu un to mijiedarbībām. Izmainot vienu ieejas procesa mainīgo, parasti notiek nelineāra vairāku izejas parametru izmaiņa. Gaisa kondicionēšanas tehnikā šo sakarību noskaidrošana notiek vienlaicīgi risinot siltuma, hidraulikas un aerodinamikas sakarības [48]. Kondicionēšanas procesu galveno mainīgo vērtības mainās gan laikā, gan telpā. Vispārināta automātiskās vadības sistēmas (AVS) struktūrshēma ir dota attēlā 3.

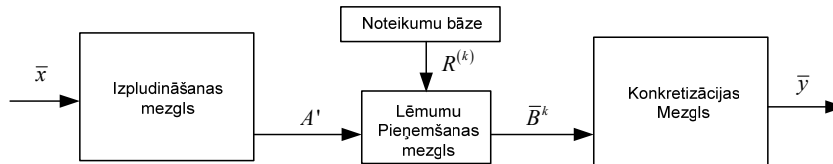


3.att. AVS vispārināta struktūrshēma

Kur:  $O$  -objekts,  $r$  -regulators, SM-salīdzināšanas mezgls,  $f(t)$  -ierosinošā iedarbība,  $y(t)$  - regulējamais parametrs,  $g(t)$  -iestatītais parametrs,  $\varepsilon(t)$  -regulēšanas kļūda,  $\mu(t)$  -vadošā iedarbība.

### Izplūdušī loģika

Klasiska izplūdušās loģikas (IL) [59] vadības moduļa struktūra sastāv no izpludināšanas mezgla, lēmumu pieņemšanas mezgla, noteikumu bāzes un konkretizācijas mezgla (4.att.).



4.att. Izplūdušās loģikas vadības moduļa struktūrshēma

*Noteikumu bāze* sastāv no izplūdušajiem noteikumiem  $R^{(k)}$ ,  $k = 1, \dots, N$ , kurus pieraksta sekojošā formā:

$$R^{(k)} : IF(x_1 \text{ is } A_1^k \text{ AND } x_2 \text{ is } A_2^k \dots \text{AND } x_n \text{ is } A_n^k) \\ THEN(y_1 \text{ is } B_1^k \text{ AND } y_2 \text{ is } B_2^k \dots \text{AND } y_m \text{ is } B_m^k) \quad (6)$$

*Izpludināšanas mezgls* veic ieejas signāla konkrētās vērtības  $\bar{x} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_n)^T \in X$  izpludināšanu, kuras rezultātā tiks iegūta izplūdušī kopa  $A' \subseteq X = X_1 \times X_2 \times X_3 \times \dots \times X_n$ .

Ja lēmumu pieņemšanas mezgla ieejā ir ievadīta izplūdušī kopa  $A' \subseteq X = X_1 \times X_2 \times X_3 \times \dots \times X_n$ , tad tā izejā parādīsies atbilstoša izplūdušī kopa.

Lēmuma pieņemšanas mezgla izejā tiek formētas vai nu  $N$  izplūdušās kopas  $\bar{B}^k$  ar piederības funkcijām  $\mu_{\bar{B}^k}(y)$ ,  $k = 1, 2, 3, \dots, N$ , vai arī viena izplūdušī kopa  $B'$  ar piederības funkciju  $\mu_B(y)$ . Konkretizācijas mezgla uzdevums ir pārvērst šīs izplūdušās kopas (vai kopu) vienīgajā izejas signālā ar konkrētu vērtību  $y \in Y$ , kas tiks izmantots vadības iedarbības veikšanai objektā.

Takagi un Sugeno [59] pielietoja algoritmu, kura realizācijā tika izmantoti noteikumi, kuros izplūdušī forma ir tikai daļai IF, bet THEN satur funkcionālas sakarības:

$$R^{(N)} : IF(x_1 \text{ ir } A_1^N \text{ AND } x_2 \text{ ir } A_2^N \dots \text{AND } x_n \text{ ir } A_n^N) THEN y_N = f^{(N)}(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (7)$$

Ja izplūdušās vadības moduļa ieejā tiek padots signāls  $\bar{x} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \dots, \bar{x}_n)$ , kuru var interpretēt kā objekta stāvokļa vektoru, tad var noteikt moduļa izejas signālu  $\bar{y}$ . Katram noteikumam  $R^{(N)}$  var aprēķināt:

$$\mu_{A_1^N}(\bar{x}_1), \mu_{A_2^N}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{A_n^N}(\bar{x}_n) \quad (8)$$

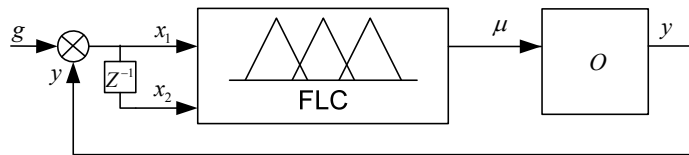
$$W^N = \begin{cases} \min \{ \mu_{A_1^N}(\bar{x}_1), \mu_{A_2^N}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{A_n^N}(\bar{x}_n) \} \\ \text{vai} \\ \mu_{A_1^N}(\bar{x}_1), \mu_{A_2^N}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{A_n^N}(\bar{x}_n) \end{cases} \quad (9)$$

$$\bar{y}_N = f^{(N)}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) \quad (10)$$

Takagi-Sugeno izplūdušās vadības moduļa izejas signāls ir atsevišķo izeju  $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_N$  signālu normalizēta izsvērtā summa:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N W^k \bar{y}_k}{\sum_{k=1}^N W^k} \quad (11)$$

Izplūdušās loģikas regulatora struktūrshēma ir dota attēlā 5. Regulators veic objektā  $O$  regulējamā parametra vērtības uzturēšanu atbilstoši iestādītajai mērķa vērtībai  $g$ . Vadībā izmantojamā izplūdušās loģikas kontrollera vienā ieejā tiek padota objektā  $O$  nomērītās regulējamā parametra vērtības  $y$  un iestatītās mērķa vērtības  $g$  starpība (nobīde)  $x_1$ , bet otrajā ieejā tiek padota iepriekšējā mērījuma parametra nobīdes ( $Z^{-1}$ ) vērtība  $x_2$ . Tādejādi, kontrollerim tiek nodrošināta informācija par regulējamā parametra pašreizējās vērtības nobīdi no iestatītās mērķa vērtības un par parametra izmaiņas ātrumu laikā.



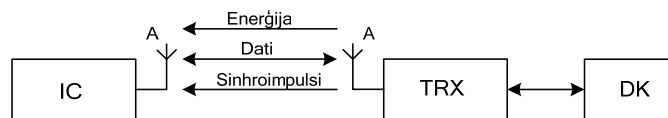
5.att. Izplūdušās loģikas regulatora struktūrshēma

Kontrolleris FLC, atbilstoši datubāzē aprakstītajiem noteikumiem, ar izejas vadības signāla  $\mu$  palīdzību veic regulējamā parametra izmaiņas objektā.

## Bezkontakta radiofrekvences identifikācijas metode

Bezkontakta radiofrekvences identifikācijas metode RFID [53] paredzēta identifikācijas marķieru atpazīšanai un tajos ierakstīto datu nolasīšanai un modificēšanai. RFID sistēma sastāv no sekojošām sastāvdaļām (att.6):

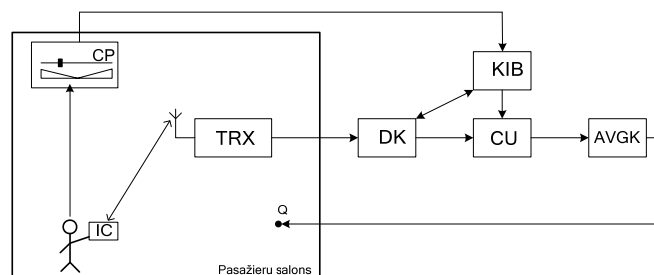
1. Transponderis- elektroniskais marķieris (IC karte), kas atrodas pie identificējamā objekta.
2. Bezvadu nolasītājs-rakstītājs, kas ir uzstādīts kontrolpunktā (TRX).
3. Informācijas saņemšanas aplikācija (DK), kas paredzēta saņemto datu apstrādei.



6.att. RFID sistēmas blokskhēma

IC karte kopā ar identificējamo objektu nonākot TRX darbības zonā, saņem TRX raidīto enerģijas lādiņu, kura ietekmē tiek aktivizēta IC kartē iebūvētā procesora barošana, kas izraisa datu apmaiņu starp IC un TRX. Datu apmaiņa starp ierīcēm tiek sinhronizēta pateicoties TRX raidītajiem sinhroimpulsiem. Saņemtie dati no TRX nonāk aplikācijā DK, kurā tie tiek apstrādāti un analizēti. RFID metode dod iespēju bezkontakta ceļā nolasīt pasažiera personalizētajā identifikācijas kartē (IC) ierakstīto informāciju par personālajām mikroklimata parametru un komforta līmeņa prasībām, kā arī noteikt katra konkrēta pasažiera izvietojumu transportlīdzekļa salonā.

Lai lietotu šo metodi, visiem pasažieriem ir jābūt nodrošinātiem ar RFID identifikācijas kartēm. IC karte var tikt lietota arī pasažiera brauciena apmaksas apstiprināšanas vajadzībām, ja to ir paredzējusi pārvadātāju kompānija. Transportlīdzekļa pasažieru salonā blakus pasažieru vietām tiek izvietotas RFID raidoši-uztverošās iekārtas (TRX).



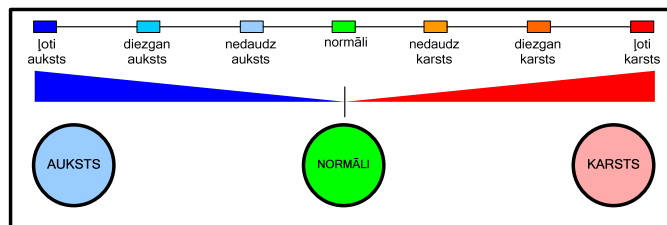
7.att. RFID sistēmas pielietošanas struktūrshēma

Sistēma darbojas sekojoši: individualizētā RFID identifikācijas karte IC (att.7.), kurā

saglabātais lietotāja identifikācijas kods (ID) pasažierim ieņemot savu vietu, nonāk TRX darbības zonā, kā rezultātā tiek aktivizēts informācijas apmaiņas process. Kartes identifikācijas kods un tajā saglabātās vēlamā efektīvās temperatūras indeksa ET\* vērtība automātiski tiek nolasītas ar bezvadu RFID uztvērēja TRX palīdzību un pasažiera dati tiek nodoti datu apstrādes kontrollerim DK. Nolasītā efektīvās temperatūras indeksa ET\* vērtība tiek nosūtīta apstrādei komforta individualizācijas blokam KIB, kurš ģenerē izejas signālu vadības iekārtai CU, kurā tiek apstrādāta jaunā pasažiera komforta izvēle, kas ietekmē AVGK iekārtas iestatīto pasažieru salona vides parametru korekcijas vērtību izmaiņu.

### Pasažieru komforta sajūtu novērtēšanas sistēma

Lai iestatītu pasažieru salona mikroklimata parametrus, kuri apmierinātu lielāko vairumu pasažieru, ir nepieciešams uzzināt pasažieru viedokli par dotajā brīdī nodrošinātā komforta atbilstību viņu vēlmēm. Autors šo uzdevumu risina veicot periodiskas pasažieru aptaujas. Tehniski tas tiek realizēts izmantojot pie pasažieru sēdvietām izvietotus individuālos pogu paneļus (8.att.).



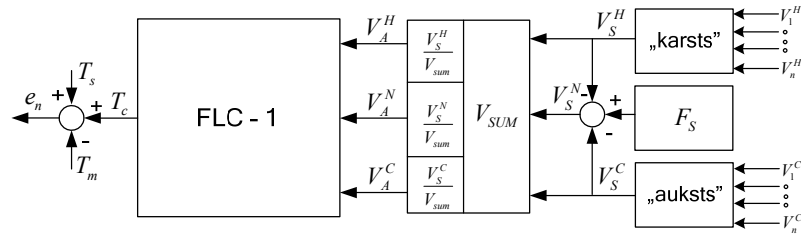
8.att. Pasažieru komforta novērtēšanas individuālais pogu panelis

Pasažieris savu neapmierinātību ar termālā komforta līmeni var izteikt vienu vai vairākas reizes nospiežot pogas „Auksts”, vai „Karsts”. Pasažierim tiek piedāvāts arī nospiegt pogu „Normāli”, gadījumā, ja viņš vēlas izteikt apmierinātību ar nodrošināto komforta līmeni. Ja pasažieris neveic nekādas darbības, tad tiek uzskatīts, ka tas ar komforta līmeni ir apmierināts. Saņemtie balsojumi tiek summēti atbilstoši kategorijām „Auksts” -  $V_S^C$  un „Karsts” -  $V_S^H$ :

$$V_S^C = \sum_{i=1}^{F_S} w \cdot V_i^C \quad (12)$$

$$V_S^H = \sum_{i=1}^{F_S} w \cdot V_i^H \quad (13)$$

Pasažieru komforta balsojuma novērtēšanas sistēmas struktūrshēma ir dota att.9.



9.att. Pasažieru komforta novērtēšanas sistēmas struktūrshēma

Lai noteiktu pasažieru skaitu, kas ir apmierināti ar komforta līmeni, no kopējā transporta līdzekļa salonā esošo pasažieru skaita  $F_S$  tiek atņemts balsojumu „Auksts” un „Karsts” veikušo pasažieru skaits.

$$V_S^N = F_S - \sum_{i=1}^{F_S} V_i^C - \sum_{i=1}^{F_S} V_i^H \quad (14)$$

Kopējā pasažieru balsojuma summa  $V_{SUM}$  ir vienāda ar maksimāli iespējamo vērtējumu summu sareizinātu ar atbilstošo balsojumu skaitu.

FLC-1 pasažieru komforta līmeņa novērtējuma ieeju vērtības  $V_A^C, V_A^N, V_A^H$  tiek aprēķinātas sekojoši:

$$V_A^C = \frac{V_S^C}{V_{SUM}^C} \quad (15)$$

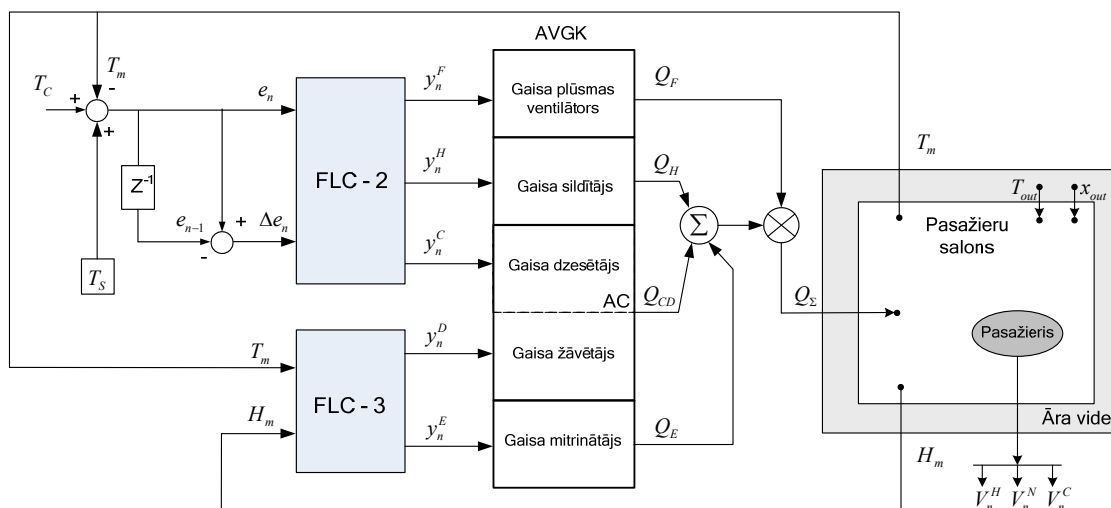
$$V_A^N = \frac{V_S^N}{V_{SUM}^N} \quad (16)$$

$$V_A^H = \frac{V_S^H}{V_{SUM}^H} \quad (17)$$

Pēc tam, atbilstoši IL noteikumiem, izplūdušās loģikas kontrollera FLC-1 izejā tiek ģenerēta parametra korekcijas vērtība  $T_c$ , kura ietekmē iestatītās temperatūras mērķa vērtības  $T_m$  izmaiņu.

### AVGK sistēmas agregātu vadība ar IL kontrolleru

HVAC sistēmas vadība tiek realizēta izmantojot divus izplūdušās loģikas kontrollerus FLC-2 un FLC-3 (10.att.). FLC-2 kontrolleris veic gaisa sildītāja, gaisa dzesētāja un gaisa plūsmas ventilatora jaudas vadību ar attiecīgajiem izejas signāliem  $y_H, y_C$  un  $y_F$ , nodrošinot pasažieru salonā optimālu temperatūras režīmu. Gaisa mitruma kontrolei un tā līmeņa izmaiņām ir paredzēts FLC-3, kurš ar vadības signālu  $y_E$  un  $y_D$  palīdzību nodrošina gaisa mitrinātāja un žāvētāja darbību. Gaisa dzesēšanu un žāvēšanu nodrošina gaisa kondicionētājs. Žāvēšanas režīmā izejas gaisa temperatūra paliek nemainīga, atdalot no tā noteiktu daudzumu mitruma.



10.att. AVGK sistēmas vadības struktūrshēma

Pasažieru salona gaisa temperatūra  $T_m$  tiek regulēta atbilstoši pasažieru uzstādītajām prasībām, kas ir izteiktas ar temperatūras korekcijas vērtību  $T_c$ . Temperatūras iestādītā vērtība  $e_n$  tiek izskaitļota atbilstoši sekojošai izteiksmei:

$$e_n = T_s + T_c - T_m \quad (18)$$

Regulējamo komforta parametru iestatītās mērķa vērtības tiek izvēlētas no komforta diagrammas (att.1.) sezonu reģionu vidējām vērtībām un tās ir: vasarā mērķa temperatūra  $T_s$  ir  $+24^\circ\text{C}$ , bet ziemā  $+22^\circ\text{C}$  ar gaisa relatīvo mitrumu 50%.

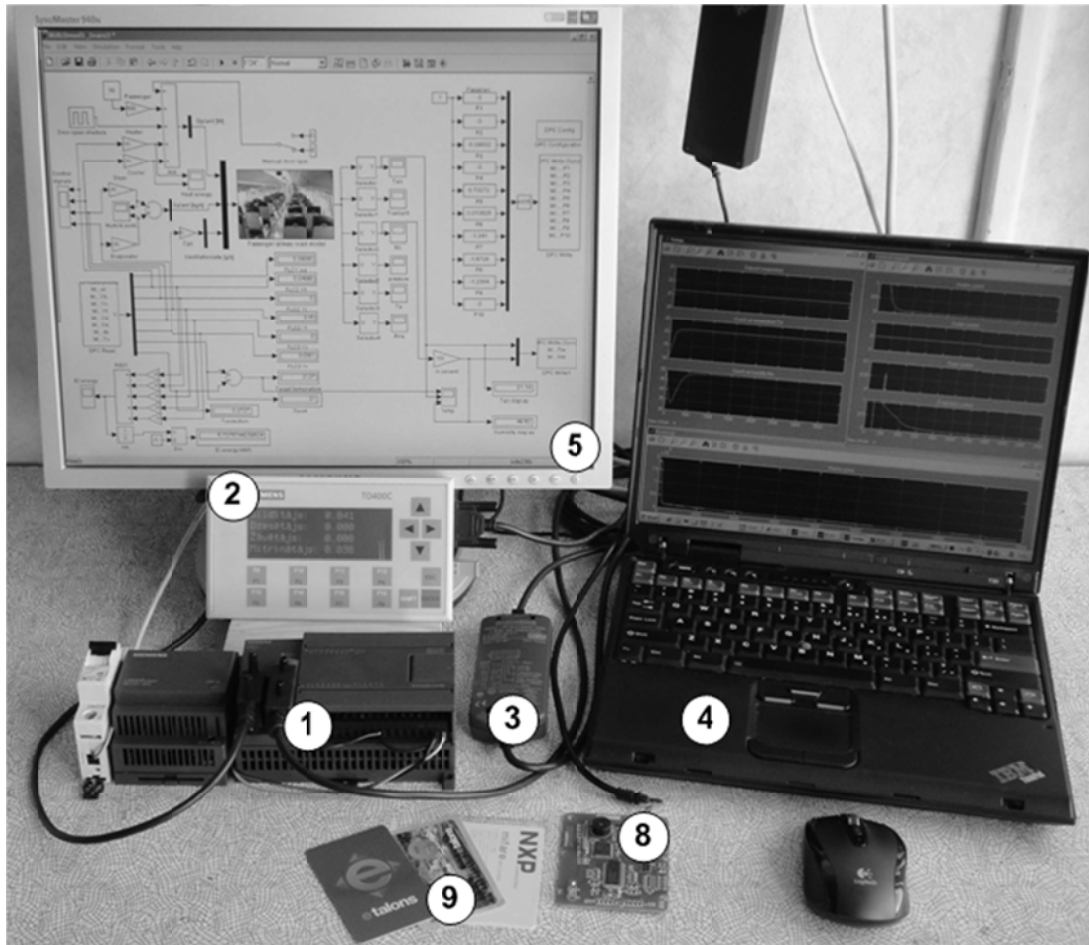
Gaisa mitruma kontroli nodrošina izplūdušās loģikas controlleris FLC-3. Krollera uzdevums ir nodrošināt telpas gaisa temperatūrai atbilstošu mitruma līmeni. Tam ir divas ieejas un divas izejas. Ieejās tiek saņemta informācija par telpā nomērītajām temperatūras un mitruma vērtībām, bet izejās, atbilstoši IL noteikumiem, tiek ģenerēti gaisa mitrinātāja un gaisa žāvētāja vadības signāli. Pasažieru salona gaisa mitrumu raksturojošā relatīvā mitruma  $H_m$  vērtība tiek uzturēta nomērītajai gaisa temperatūrai  $T_m$  atbilstošā līmenī, nodrošinot pasažieru komfortam nepieciešamo vērtību diapazona viduspunktu ( $\text{RH}=50\% \pm 5\%$ ).

### Sistēmas vadības eksperimentālā pārbaude

Modelēšanā tiek pielietots sekojošs aprīkojums (att.11) un datorprogrammas:

1. Programmējamois controlleris Siemens Simatics S7-224XP;
2. Vadības panelis ar displeju Siemens TD-400C;
3. PC-RS232 savienojošais adapteris Siemens RS232/PPI Multi-Master Cable;
4. Dators P4 ar Windows XP operētājsistēmu;

5. Matlab 7 datorprogramma ar Simulink pielikumu;
6. Siemens Step 7 Micro/Win v4.06 datorprogramma;
7. S7-200 PC-access V1.03 datorprogramma;
8. RFID bezkontakta karšu lasītājs;
9. RFID bezkontakta identifikācijas kartes.

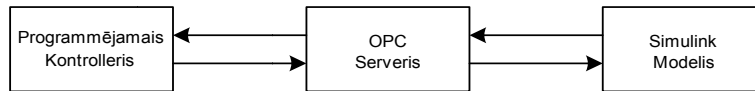


11.att. Eksperimenta realizācijā pielietotais aprīkojums

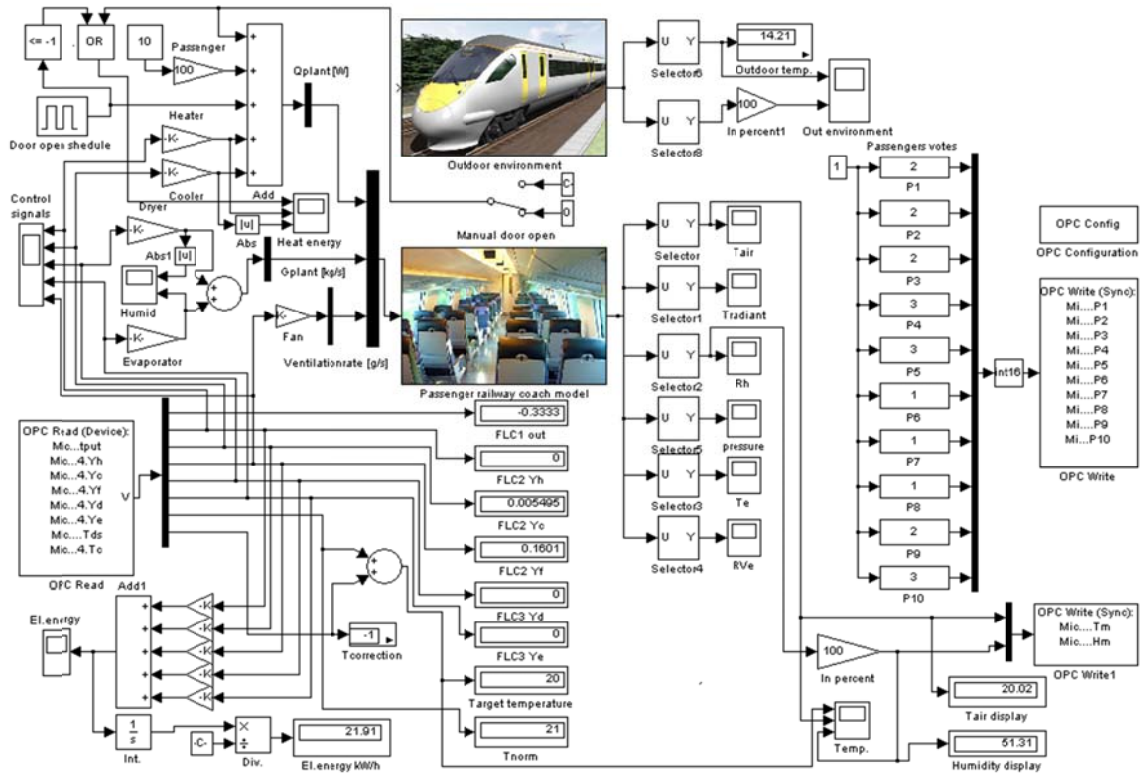
Eksperimenta mērķis: autora izstrādātās sabiedriskā elektriskā transporta pasažieru salona AVGK iekārtas vadības sistēmas ar sērijveida programmējamo kontrolleri un izplūdušās loģikas algoritmu darbības pārbaude un raksturlīkņu iegūšana.

Eksperimenta sistēma sastāv no sekojošiem elementiem (att.12):

- kontrolleris ar izplūdušās loģikas algoritma programmu,
- sabiedriskā elektriskā transporta salona ar 10 pasažieriem Simulink modelis,
- OPC serveris, kas savieno Simulink modeli ar kontrolleri.



12.att. Eksperimenta sistēmas elementu savienojuma struktūrshēma



13.att. Eksperimenta Matlab/Simulink modelis

Eksperimenta modelis (att.13) sastāv no sekojošām daļām:

- Pasažieru salona mikroklimata modelis,
- Āra vides parametru 24 stundu modelis
- AVGK sistēmas vadāmās iekārtas: sildītājs, dzesētājs, žāvētājs, mitrinātājs un ventilators,
- Pasažieru salona temperatūras un mitruma devēji,
- Pasažieru termālā komforta līmeņa sajūtas balsojuma ievades elementi,
- Pasažieru salona durvju automātiskās un manuālās atvēršanas elementi,
- Patērētās elektroenerģijas skaitītājs.

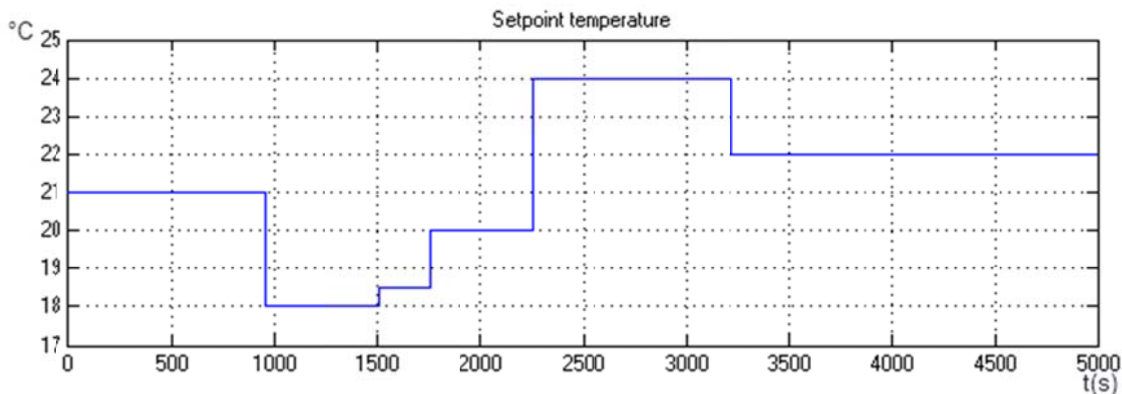
Matlab/Simulink modelis (att.13) ir savienots ar programmējamo kontrolleri, kurā ir ievadīta izplūdušās loģikas programma. Kontrolleris saņem pasažieru ievadīto informāciju no balsojuma ievades elementiem un salona temperatūras un mitruma devējiem.

Vienā programmējamajā kontrolerī realizētas trīs izplūdušās loģikas apakšprogrammas FLC-1, kas paredzēta pasažieru komforta novērtējuma apstrādei un temperatūras korekcijas vērtības noteikšanai, FLC-2, kas paredzēts sildītāja, dzesētāja un ventilatora vadībai un FLC-3 žāvētāja un mitrinātāja vadībai. Kontrolera programmas darbības rezultāti tiek nodoti no kontrolera uz modeli, kur tiek realizēta iekārtu vadība un to ietekme uz salona mikroklimatu, kā arī atgriezeniskā saite tiek realizēta izmantojot OPC servera programmu un datoru – programmējamo kontroleri savienojošo adapteri. Tiek modelēts elektrovilciena salons, kurā atrodas 10 cilvēki, un katram pasažierim ir iespēja ar regulatora palīdzību novērtēt esošo stāvokli atbilstoši savai sajūtai.

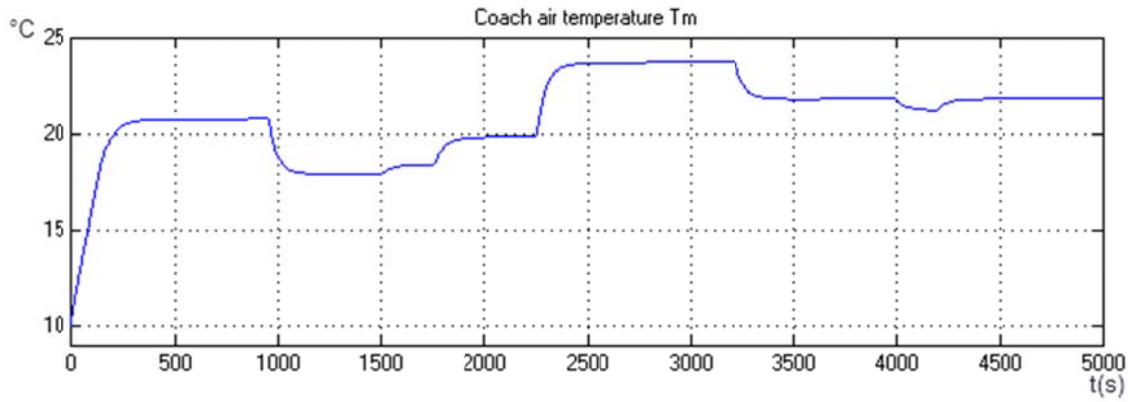
Lai būtu iespēja veikt izstrādātās AVGK sistēmas modeļa darbības salīdzinājumu ar pasažieru elektrotransportā plaši pielietojamo sistēmas vadību ar divpakāpju komutāciju, tika veikta šādas sistēmas vadības modelēšana, pielietojot iepriekšējam modelim identiskus pasažieru salona un AVGK iekārtas jaudas agregātus. Modelī gaisa temperatūras iestatītās mērķa vērtības sildīšanas un dzesēšanas režīmiem ir atšķirīgas (sildīšanai 21°C un dzesēšanai 23°C) ar regulēšanas joslu  $\pm 1^\circ\text{C}$  no iestatītās vērtības.

### Sistēmas modelēšanas rezultāti

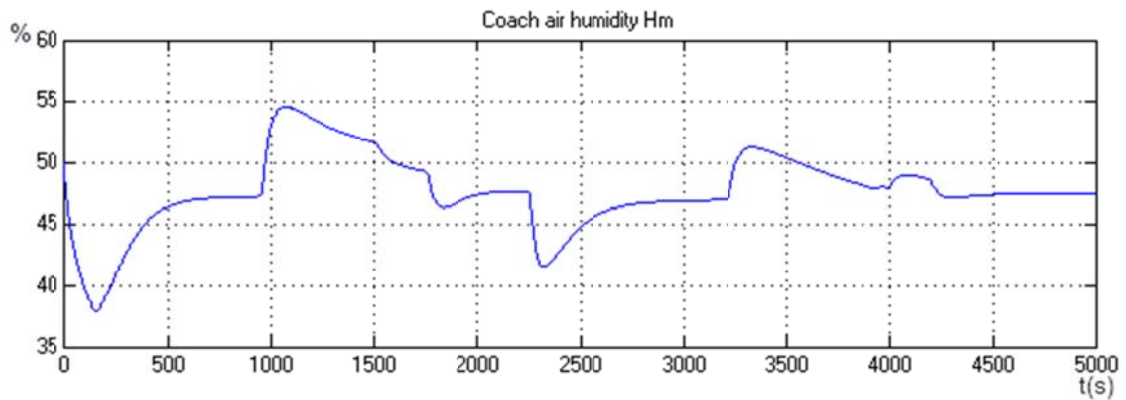
Modelējot izstrādātās AVGK iekārtas darbību ar atbilstoši pasažieru vēlmēm mainīgu iestatītās mērķa temperatūras vērtību, tika modelētas vairākas mērķa temperatūras izmaiņas: 21°C, 18°C, 18,5°C, 20°C, 24°C un 22°C (att.14). Sistēmas modelēšanas rezultātā tika iegūti vairāki vagona pasažieru salona vides parametru izmaiņas un AVGK iekārtas izejas parametrus raksturojoši grafiki (att.15-21). Pasažieriem veicot balsojumus, izmainās iestatītās temperatūras vērtība, tās izmaiņas rezultātā mainās arī pasažieru salona temperatūra (att.15). Gaisa relatīvā mitruma izmaiņas redzamas 16.att.



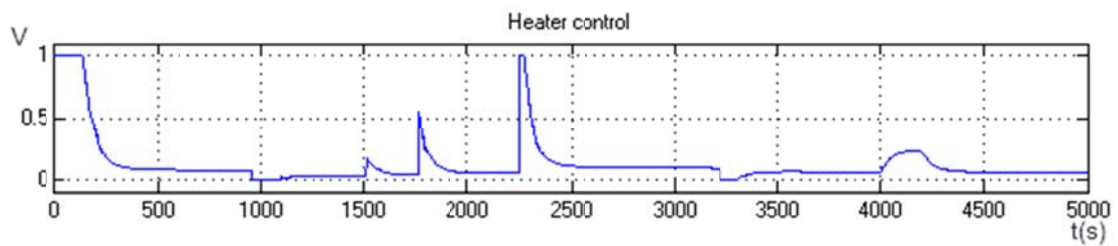
14.att. Mērķa temperatūras korekcija atbilstoši pasažieru vēlmēm



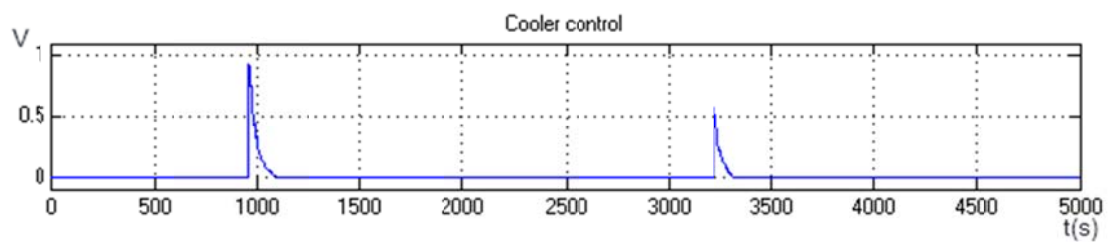
15.att. Pasažieru salona gaisa temperatūra



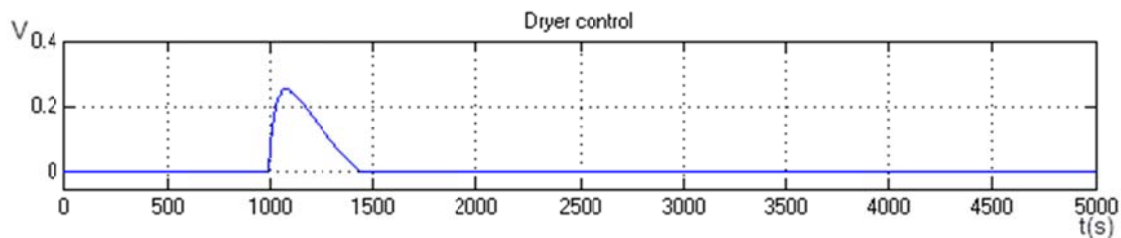
16.att. Pasažieru salona gaisa relatīvais mitrums



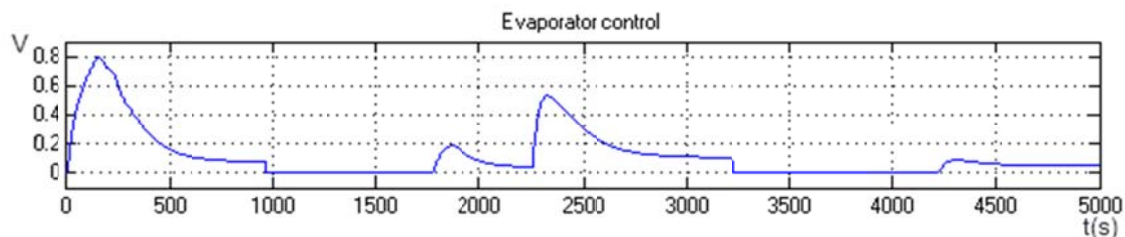
17.att. AVGK iekārtas gaisa sildītāja vadības līkne



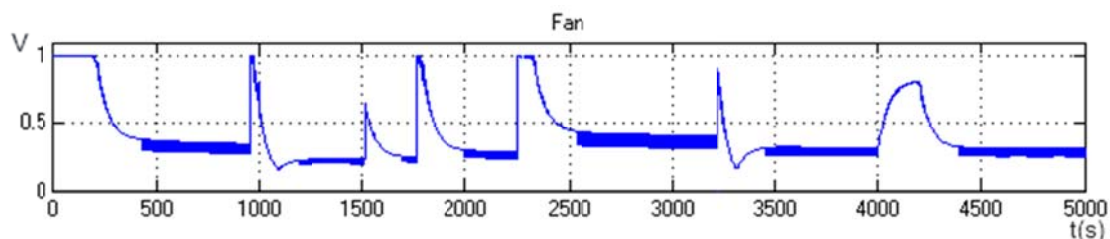
18.att. AVGK iekārtas gaisa dzesētāja vadības līkne



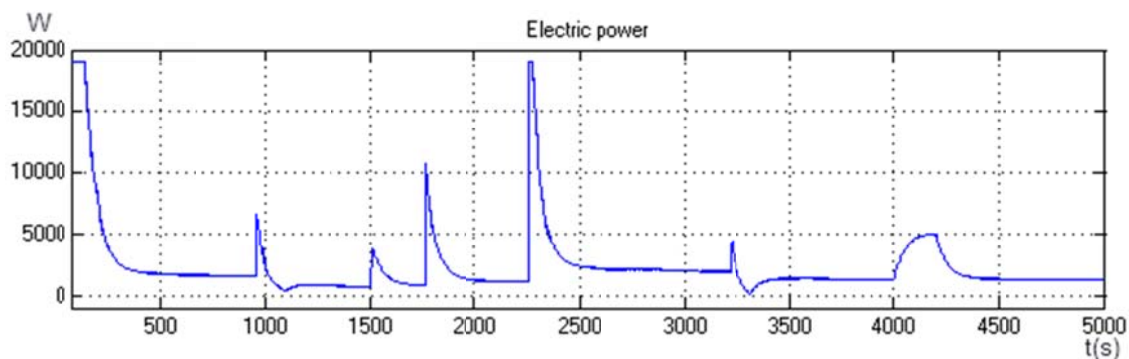
19.att. AVGK iekārtas gaisa žāvētāja vadības līkne



20.att. AVGK iekārtas gaisa mitrinātāja vadības līkne



21.att. AVGK iekārtas gaisa ventilatora vadības līkne



22.att. AVGK iekārtas patērētās jaudas līkne

Attēlā 22 ir dota AVGK iekārtu patērētās jaudas līkne, kuras maksimums tiek sasniegts sistēmas palaišanas brīdī līdz tiek sasniegti mērķa iestatītie vides parametri. Pēc tam sistēma samazina AVGK iekārtas agregātu jaudu un enerģija tiek lietota tikai pasažieru salona vides parametru uzturēšanai nepieciešamajā līmenī.

## SECINĀJUMI

Promocijas darba izstrādes gaitā:

1. ir veikta sekojošu sistēmas mezglu izstrāde:
  - Pasažieru komforta līmeņa novērtējuma balsojuma saņemšanas un tā apstrādes mezgls izmantojot izplūdušās loģikas kontrolleru.
  - AVGK iekārtas vadības sistēmas ar izplūdušās loģikas kontrolleru pielietošana pasažieru salona gaisa temperatūras un mitruma līmeņa regulēšanā, ņemot vērā vides parametru iestatītās mērķa vērtības, kuras tiek koriģētas atbilstoši pasažieru izteiktajām vēlmēm un āra vides sezonālajām izmaiņām.
  - Pasažieru izvietojuma pasažieru salonā un iepriekš izteikto komforta vēlmju noteikšana, izmantojot RFID bezkontakta identifikācijas tehnoloģiju.
2. Ir noskaidroti un aprēķināti datormodelēšanai nepieciešamie mainīgie.
3. Ir veikti sekojoši eksperimenti:
  - Izplūdušās loģikas kontrollera atbalsts pasažieru komforta novērtēšanai un AVGK iekārtas vadības realizācijai, pielietojot sērijveida programmējamo kontrolleri.
  - AVGK iekārtas divpakāpju vadības sistēmas darbības datormodelēšana.
  - Pasažiera identifikācija un tā iepriekš izteikto komforta vēlmju noskaidrošana izmantojot bezkontakta identifikācijas metodi.

Eksperimentos tika pārbaudīta izvēlēto metožu atbilstība noteiktajam mērķim un sistēmas funkcionalitāte. Tika aprakstīta programmējamā kontrollera programmēšana un kontrollera pieslēgšanas metodika pie virtuālas sabiedriskā elektrotransporta pasažieru salona vides un AVGK iekārtas. Eksperimentāli tika salīdzinātas izstrādātās IL kontrollera vadības un tradicionālās divpakāpju vadības sistēmas un tika uzņemtas svarīgākās raksturliiknes.

No veiktā darba var secināt, ka:

1. Komplicētu un grūti prognozējamu procesu vadību precīzāk var veikt pielietojot izplūdušās loģikas vadības metodi, kura atšķirībā no tradicionāli pielietojamajām, nodrošina vienmērīgu iestatītā mērķa parametra regulēšanu, nodrošinot maksimāli tuvas regulējamo parametru vērtības iestatītajai mērķa vērtībai.
2. Pielietojot izplūdušās loģikas vadības sistēmu, ir iespējams veikt AVGK sistēmas izejas parametru korekciju atbilstoši pasažieru izteiktajam komforta novērtējumam, ievērojot 10% standartā noteikto neapmierinātības pieļaujamības sliekšni.

3. Radiofrekvenču identifikācijas metodes pielietošana dod iespēju izveidot konkrētu pasažieru, konkrētas termālā komforta vēlmes vērā ņemošu AVGK iekārtas vadības sistēmu, kura var veikt regulējamo mikroklimata parametru iestatīšanu atbilstoši pasažieru izvietojumam pasažieru salonā.
4. Eksperimentāli tika pārbaudīts, ka optimālu vadības režīmu izvēle, izmantojot IL kontrolera vadību, ļauj racionāli izmantot AVGK iekārtas agregātu darbināšanai patērējamo elektroenerģiju un samazināt tās patēriņu par 7-9%, pateicoties iespējai atbilstoši nepieciešamībai, vienmērīgi regulēt AVGK iekārtas agregātu jaudu. Vēl lielāku elektroenerģijas ekonomiju var panākt, samazinot AVGK iekārtas agregātu jaudu un tā rezultātā pazeminot vai paaugstinot (atkarībā no āra vides sezonālajiem apstākļiem) pasažieru salona gaisa temperatūru par 5°C, gadījumos, kad pasažieru salonā vai tā sektorā nav pasažieru.

Promocija darbā izstrādātās izplūdušās loģikas kontroleru vadības sistēmas un algoritmus var pielietot termālā komforta nodrošināšanas sistēmās sabiedriskajā elektrotransportā un veicot daļēju iestatāmo parametru un vadības noteikumu korekciju arī dzīvojamās un sabiedriskās ēkās un citās telpās.

## IZMANTOTIE INFORMĀCIJAS AVOTI

1. Akmens P., Krēsliņš A. *Ēku apkure un ventilācija*. Rīga: Zvaigzne ABC, 1995. - lpp.165.
2. ASHRAE *Handbook - HVAC Applications, SI Edition*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2007.
3. ASHRAE *Handbook 1997. Fundamentals*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1997.
4. ASHRAE *Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Fundamentals SI*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2001.
5. ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 *Thermal environmental conditions for human occupancy*, 2004.
6. Bekker A. *Luftungsanlagen*. Wurzburg: Vogel Industrie Medien GmbH&Co KG, 2000.
7. Berglund L.G. Comfort criteria: Humidity and standards. *In: Proceedings of Pan Pacific Symposium on Building and Urban Environmental Conditioning in Asia*, vol. 2, 1995. pp.369-82
8. Borodiņecs A., Krēsliņš A. *RTU rekomendācijas būvnormatīva LBN002-01 pielietošanai ēku projektēšanā un būvniecībā*. Rīga: RTU Izdevniecība, 2007. - lpp.131.
9. Busch J.F. A tale of two populations: Thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand. *Energy and Buildings*, 1992, 18, , pp.235-49
10. Dirba J., Ketners K., Levins N., Pugačevs V. *Transporta elektriskās mašīnas*. Rīga: Jumava, 2002. p.342
11. Dzelzītis E. *Siltuma, gāzes un ūdens inženiersistēmu automatizācijas pamati*. Rīga: Gandrs, 2005.- lpp.414.
12. Kreider.F, et.al. *Handbook of Heating, Ventilation, and Air Conditioning*. Boca Raton: CRC Press LLC, 2001. p.668
13. Fanger P.O. *Thermal comfort*. Malabar, FL: Robert E. Krieger Publishing Company, 1982.
14. Greivulis J., Firago B. *Principles of Electrical Drives in Questions and Answers*. Rīga: RTU, 1993. p.214
15. Greivulis J., Raņķis I. *Iekārtu vadības elektroniskie elementi un mezgļi*. Rīga: Avots, 2000. p.288
16. Haines R., Wilson C. *HVAC Systems Design Handbook 2nd izd.* New York: McGraw Hill, 1994.
17. Hordeski M. *HVAC control in the new millenium*. The Fairmount press inc., 2001.
18. Jones M.T. *AI Application programming*. Charles River Media inc., 2003. p.312
19. Kreider J. "Introduction to the Buildings Sector"*Handbook of Heating, Ventilation, and Air Conditioning*. CRC Press LLC, 2001.
20. Leonhard Werner. *Control of Electrical Drives 3rd izd.* Berlin: Springer, 2001. p.460
21. Levine W. *The Control Handbook*. CRC press, 1996.
22. Luger G. *Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving*. Williams, 2003.
23. Merkurjevs J. *Imitācijas modelēšanas tehnoloģijas. Lekciju konspekts.*, 2003.
24. Raņķis I., Bražis V. *Regulēšanas teorijas pamati*. Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 2001. p.94

25. Raņķis I., Žiravecka A. *Industriālās elektronikas pamati*. Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 2007. p.212
26. Ribickis L. *Elektriskā piedziņa*. Rīga: RTU izdevniecība, 2006. p.190
27. Ribickis L., Ļevčenkova A., Gorobecs M. *Sistēmu teorijas pamati industriālās elektronikas modelēšanā*. Rīga: RTU, 2008. p.100
28. Ribickis L., Raņķis I. *Electrical drives static characteristics and methods of speed control*. Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 1995. p.107
29. Ribickis L., Raņķis I., Ļevčenkova A., Gorobecs M. *Programēšanas valodas industriālā elektronikā. Metodisks līdzeklis*. Rīga: RTU, 2007. p.70
30. Russel S., Norvig P. *Artificial Intelligence. A Modern Approach 2nd izd.* Prentice Hall, 2006. p.1408
31. Sauer H., Howell R.H. *Principles of Heating Ventilating and Air Conditioning*. Atlanta: ASHRAE, 1994.
32. SIEMENS SIMATIC S7 Fuzzy Control. Siemens AG, 1996.
33. Standarts LVS EN 13053:2007, *Ēku ventilācija. Gaisa pārvades un apstrādes iekārtas. Gaisa pārvades un apstrādes iekārtu, to komponentu un sekciju nominālie raksturlielumi un veiktspēja*.
34. Standarts LVS EN 13129-1:2003, *Dzelzceļa aprīkojums - Gaisa kondicionēšana maģistrālo līniju ritošajos sastāvos - 1.daļa: Ērtību kritēriji*.
35. Standarts LVS EN 13129-2:2004, *Dzelzceļa aprīkojums - Gaisa kondicionēšana maģistrālo līniju ritošajos sastāvos - 2.daļa: Tipa testi*.
36. Standarts LVS EN 13141-1:2004, *Ēku ventilācija - Dzīvojamo telpu ventilācijas iekārtu un to komponentu veiktspējas testēšana - 1.daļa: Ārējās un iekšējās gaisa pārplūdes ierīces*.
37. Standarts LVS EN 13142:2004, *Ēku ventilācija - Dzīvojamo telpu ventilācijas iekārtas un komponenti - Obligātie un neobligātie veiktspējas raksturlielumi*.
38. Standarts LVS EN 14750-1:2006, *Dzelzceļa aprīkojums. Gaisa kondicionēšana pilsētas un piepilsētas ritošajos sastāvos. 1.daļa: Komforta raksturlielumi*.
39. Standarts LVS EN 14813-1+A1:2011, *Dzelzceļa aprīkojums. Gaisa kondicionēšana mašīnistu kabīnēs. 1. daļa: Komforta parametri*.
40. Standarts LVS EN 15140:2006, *Sabiedriskais pasažieru transports. Pamatprasības un ieteikumi sistēmām, kas kvantitatīvi novērtē sniegto pakalpojumu kvalitāti*.
41. Standarts LVS EN ISO 14505-3:2006, *Vides siltuma ergonomika. Vides siltuma novērtēšana transportlīdzekļos. 3.daļa: Siltuma komforta novērtēšana ar cilvēka palīdzību*.
42. Standarts LVS EN ISO 7730:2006, *Siltuma vides ergonomika. Termālā komforta analītiska noteikšana un interpretācija, izmantojot paredzamā vidējā balsojuma (PMV) un paredzamā neapmierināto personu procenta (PPD) indeksu kalkulāciju un lokālā termālā komforta kritērij*.
43. Trčka M., Hensen Jan. Overview of HVAC system simulation. *Automation in Construction*, 2010, 2, vol. 19, pp.93-99
44. Valeinis J. *Elektriskās piedziņas vadība*. Rīga: Rīgas Tehniskā universitāte, 1982. p.95
45. Valeinis J. *Ievads elektriskās piedziņas vadības sistēmās*. Rīga: RTU, 2007. p.163
46. Wagner Walter. *Lufttechnische Anlagen (Kamprath- Reihe)*. Wurzburg: Vogel Buchverlag, 1997.
47. Wit Martin. *Heat Air Moisture Model for Building and Systems Evaluation*. Eindhoven:

- Eindhoven University Press, 2006. p.112
48. Бондарь Е., Гордиенко А., Михайлов В., Нимич Г. *Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха*. Киев: Аванпост-Прим, 2005. p.560
  49. Герман-Галкин С.Г. *Matlab&Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК*. КОРОНА-Век, 2008.
  50. Герман-Галкин С.Г. *Компьютерное моделирование полупроводниковых систем Matlab 6.0*. Санкт-Петербург: Корона, 2001. p.320
  51. Герман-Галкин С.Г., Кардонов Г.А. *Электрические машины. Лабораторные работы на ПК*. СПб: КОРОНА принт, 2003. p.256
  52. Девятков В.В. *Системы искусственного интеллекта*. Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001.
  53. Дшхунян В.Л., Шаньгин В.Ф. *Электронная идентификация*. Москва: НТ-Пресс, 2004.-695с.
  54. Дьяконов В.П., Круглов В.В. *Matlab 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 Simulink 5/6 Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики*. Москва: Солон-Пресс, 2006. p.453
  55. Калабеков Б.А., Мамзелев И.А. *Основы автоматики и вычислительной техники*. Москва: Связь, 1980.296с.
  56. Клюев А.С., Лебедев А.Т., и др. *Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования*. Москва: Энергоатомиздат, 1989.-386с.
  57. Копилова И., Клокова Б.К. *Справочник по электрическим машинам. том 1*. Энергоатомиздат, 1988. p.455
  58. Леоненков А.В. *Нечеткое моделирование в среде MatLAB и fuzzyTECH*. СПб: БХВ-Петербург, 2003. p.736
  59. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. *Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы*. Москва: Горячая линия-Телеком, 2006.
  60. Сандлер А.С. *Регулирование скорости вращения асинхронных двигателей*. Москва: Энергия, 1966. p.319
  61. Солодовникова В.В. *Теория автоматического регулирования. Книга 3*. Москва: Машиностроение, 1969. p.606
  62. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. *Регулируемые электроприводы переменного тока*. Минск: ЗАО Техноперспектива, 2006. p.363
  63. Черноруцкий И. *Методы принятия решений*. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. p.416